

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

на тему: **“Автоматизація процесу пастеризації та охолодження
пива”**

Виконав: студент гр. Акт-42 сп
Спеціальності 151 – „Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології”
(шифр і назва)

Тимоць Ігор Богданович
(Прізвище та ініціали)

Керівник: к.т.н., доц. Лиса О.В.
(Прізвище та ініціали)

Рецензенти: д.т.н., проф. Власовець В.М.
(Прізвище та ініціали)

(Прізвище та ініціали)

ДУБЛЯНИ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ
ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Спеціальність 151 – „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____

д.т.н., проф. А.М. Тригуба

“ _____ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту

Тимоць Ігор Богданович

1. Тема роботи: «Автоматизація процесу пастеризації та охолодження пива»

Керівник роботи Лиса Ольга Володимирівна, к.т.н., доцент.

Затверджені наказом по університету від 27 листопада 2023 року № 641/к-с.

2. Строк подання студентом роботи 14.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи: 1. Технологічна карта пастеризації та охолодження пива; 2. Функціональні ознаки системи автоматизації; 3. ДСТУ, СНіПи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

1. Аналіз технологічного процесу пастеризації та охолодження пива як об'єкта керування

2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива.

3. Оптиміальне керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива

4. Охорона праці

5. Розрахунок економічної ефективності проекрованої системи автоматизації

Висновки.

Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік презентаційного матеріалу :

Тема, автор, керівник роботи. Технологічна карта процесу пастеризації та охолодження пива. Схема пластинчастого теплообмінника (пастеризатора і холодильника) Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання Схема автоматизації з підігрівом пива на вході пастеризованим пивом. Схема автоматизації без підігріву пива на вході пастеризованим пивом. Оптимальна спрощена схема автоматизації без підігріву пива на вході пастеризованим пивом. Перехідний процес замкнутої САР при оптимальних настройках ПІ-регулятора.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Лиса О.В., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	28.11.23-21.01.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування головних показників для розрахунків</i>	23.01.24-01.03.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	02.03.24-01.04.24	
4.	<i>Виконання четвертого розділу та узагальнення вимог охорони праці</i>	02.04.24-21.04.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	22.04.24-06.05.24	
6.	<i>Завершення оформлення розрахунково-пояснювальної записки та презентації</i>	07.05.24-22.05.24	
7.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	23.05.24-14.06.24	

Студент _____ Тимоць І.Б.
(підпис)

Керівник роботи _____ Лиса О.В.
(підпис)

УДК 631.365.2

Автоматизація процесу пастеризації та охолодження пива. Тимоць І.Б. – Кваліфікаційна робота бакалавра. Кафедра інформаційних технологій – Дубляни, ЛНУП, 2024.

67 с. текст. част., 14 рис., 8 табл., 17 літ. джерел, 2 додатки.

Текстова частина включає вступ, п'ять розділів, висновки, список використаних джерел.

У вступі висвітлено суть процесу пастеризації та охолодження пива, обґрунтовано необхідність автоматизації даного технологічного процесу.

В першому розділі описано технологічний процес пастеризації та охолодження пива, наведено тепловий баланс процесу охолодження пива, визначено номінальні значення параметрів технологічного процесу та складено структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта.

В другому розділі проведено аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу, вибір технічних засобів автоматизації, синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта, подано програмне забезпечення системи керування та специфікацію засобів автоматизації.

У третьому розділі досліджено САР з вхідною величиною регулювання (теплообмінника) - витратою холодоагента, а вихідною – температура пива на виході з охолоджувача, здійснено вибір автоматичного регулятора та визначено його оптимальні параметри настроювання. Досліджено перехідні процеси, та визначені їх показники якості, описано схеми автоматизації.

У четвертому розділі розроблені заходи з охорони праці і навколишнього середовища.

У п'ятому розділі розраховано економічну ефективність від впровадження запропонованої системи автоматизації, річний економічний ефект, термін окупності.

На підставі виконаної роботи зроблено відповідні висновки.

Ключові слова: автоматизація, технічні засоби, контролер, функціональна схема автоматизації, моделювання.

АНОТАЦІЯ

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі описано технологічний процес пастеризації та охолодження пива, наведено тепловий баланс процесу охолодження пива. Проведено аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу, вибір технічних засобів автоматизації, розроблена функціональна схема автоматизації технологічного процесу пастеризації та охолодження пива, розроблено програму для керування контролером Siemens Simatic S7-300, розроблені електричні схеми під'єднання засобів автоматизації. Проведений розрахунок та моделювання система автоматичного регулювання з вхідною величиною регулювання (теплообмінника) - витратою холодоагента, а вихідною – температура пива на виході з охолоджувача, здійснено вибір автоматичного регулятора та визначено його оптимальні параметри настроювання. Досліджено перехідні процеси, та визначені їх показники якості, описано схеми автоматизації.

ABSTRACT

The technological process of beer pasteurization and cooling is described in this bachelor's qualification work, the heat balance of the beer cooling process is given. An analysis of the existing automation schemes of the technological process was carried out, the selection of technical means of automation was carried out, a functional scheme of automation of the technological process of beer pasteurization and cooling was developed, a program for controlling the Siemens Simatic S7-300 controller was developed, and electrical schemes for connecting automation means were developed. The calculation and simulation of the automatic regulation system with the input value of the regulation (heat exchanger) - refrigerant consumption, and the output value - the temperature of the beer at the exit from the cooler, was carried out, the selection of the automatic regulator was made and its optimal setting parameters were determined. Transient processes were studied, their quality indicators were determined, and automation schemes were described.

Зміст

Вступ	8
1. Аналіз технологічного процесу пастеризації та охолодження пива як об'єкта керування	10
1.1. Опис технологічного процесу пастеризації та охолодження пива	10
1.2. Тепловий баланс процесу охолодження пива	13
1.3. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень	14
1.4. Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта	15
2. Синтез автоматизованої системи керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива	17
2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта	17
2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу	18
2.3. Визначення функціональних ознак систем автоматизації	19
2.4. Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу	20
2.5. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта	22
2.6. Вибір технічних засобів автоматизації	22
2.7. Специфікація на засоби автоматизації	40
2.8. Опис функціональної схеми автоматизації	42
2.9. Програмне забезпечення систем керування	44
3. Оптимальне керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива	47
3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів	47
3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання	48

3.3. Визначення закону регулювання	50
3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора	51
4. Охорона праці	57
4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці	57
4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці	58
4.3. Пожежна безпека	63
5. Розрахунок економічної ефективності проектованої системи автоматизації	65
Висновки	73
Список використаних джерел	74

ВСТУП

Пиво — це традиційний приємний напій, яким люди насолоджуються вже понад 9000 років. Виготовляється із зернових культур, які проросли та не проросли шляхом спиртового бродіння охмеленого суслу з використанням пивних дріжджів. Він не тільки втамовує спрагу, але й тонізує організм, прискорює обмін речовин і полегшує перетравлення їжі.

Основними видами сировини для виробництва пива, зокрема в Україні, є ячмінь, хміль, ферментні препарати і вода. Широко використовують й інші зернові (пшениця, кукурудза, рис) та бобові культури. Щодо ячменю, то для пивоваріння придатні тільки спеціальні його сорти — так звані пивоварні ячмені.

Одним із важливих компонентів пива є хміль. Він не тільки надає напою гіркуватого приємного смаку й особливого аромату, а й використовується як антибіотик, що гальмує шкідливе для пива молочнокисле бродіння. Гіркота та антисептичні властивості хмелю зумовлені хмелевими кислотами, які на повітрі окислюються у смоли.

Пастеризація – одноразове нагрівання рідин (здебільшого харчових продуктів) до температури, яка нижче за температуру кипіння на нетривалий час (від секунди до 30 хвилин), з метою знищення бактерій, що знаходяться в цих рідинах.

Назва цього процесу походить від прізвища Луї Пастера, відкривши те, що за допомогою сильного нагрівання рідини можна зробити її біологічно стійкою. При подальших дослідженнях було встановлено, що необхідний для знищення мікроорганізмів час експоненціально зменшується при збільшенні температури.

У пиві розвиваються дріжджеподібні гриби, молочно- та оцтовокислі й пивні бактерії (педіококи) і дикі дріжджі — що спричиняють помутніння, внаслідок чого пиво гіркне, у ньому з'являється неприємний запах.

Мікроорганізми по-різному переносять нагрівання. Вегетативні форми гинуть при температурі до 80 °С, а спори витримують і 100 °С. Пастеризують

пиво, пропускаючи безперервним потоком, у пляшках, іноді в бочках. Пастеризація завжди супроводжується зміною хімічного складу пива, його забарвлення, смаку й аромату. Це пов'язано з реакцією меланоїдоутворення. Ступінь змін залежить від температури, тривалості витримування та зберігання пастеризованого пива.

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення системи автоматичного керування процесом пастеризації та охолодження пива.

Об'єктом дослідження є процес пастеризації та охолодження пива.

1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ПИВА ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

1.1. Опис технологічного процесу пастеризації та охолодження пива

Технологічний процес пастеризації пива полягає у тому, що пиво нагрівають до визначеної температури, витримують певний час при цій температурі, а потім поступово охолоджують. Далі пиво розливається у стерильні пляшки, або у випадку пляшкового пастеризування поступає у етикеточний цех.

Чим більша температура, тим менше часу необхідно для знищення мікроорганізмів.

На основі цього було умовно прийнято величину, що виражає інтенсивність пастеризації - пастеризаційне число (PE).

Під одиницею пастеризації розуміють біологічний ефект від теплової обробки пива при температурі 60°C протягом 1 хвилини.

Формула розрахунку PE:

$$PE = t \cdot 1.393^{T-60}; \quad (1.1)$$

t- час пастеризації ;

T- температура пастеризації ;

Для пастеризації пива необхідно 14-15 ПЕ. Чим нижче ПЕ застосовують, тим кращі якісні властивості пива, але тим ближче ми наближаємось до тієї межі, нижче якої ще можуть вижити мікроорганізми.

Пастеризувати пиво можна або у безперервному потоці, або вже розлите у пляшки. Кращі результати одержані при пастеризації пива в безперервному потоці.

Пастеризацію і охолодження пива здійснюють в пластинчастих теплообмінниках. Вони можуть служити як пастеризатори, та і як охолоджувачі. У пластинчастому пастеризаторі процес пастеризації протікає через тонкий шар за 40—60 с, нагріваючись до 68—70 °С. В цьому ж апараті пиво охолоджується до 6°C при загальному перебуванні в ньому близько 2,5 хв. З пастеризатора-

холодильника пиво направляється у розливний автомат і розливається в стерильні пляшки.

На заводах з великою потужністю встановлюють автоматичні тунельні душові лінійні пастеризатори. Основне обладнання такого пастеризатора — ланцюгова стрічкова решітка, яка складається з ланок, що легко пропускають воду. Вона встановлена в тунель, у нижній частині якого розміщені нагрівальні водяні резервуари.

За дією теплоносія (підігріта вода) пастеризаційні апарати для пляшкового пива бувають зануреними, душовими та комбінованими. З душових пастеризаторів найпростішим є камерний, що щільно закривається. Спеціальний візок горизонтальними решітками розділений на 4—5 секцій, заповнюється пляшками з пивом і подається у камеру, яку закривають. Над камерою знаходиться бак із гарячою водою, що насосом подається до зрошувальних зон і розпилюється по пляшках по всьому перетину камери, потім стікає у бак й знову циркулює. У початковій зоні пляшки з пивом протягом 10 хв. піддаються дії водяного душу (температурою 45 °С), в наступній — 20 хв. при 60 °С, тобто за $\frac{1}{3}$ шляху пастеризаційне витримування становить 30 с., далі у трьох зонах — охолодженню зрошувальної води температурою 45, 35 та 25 °С. По закінченні пастеризації подачу теплоносія припиняють, у бак набирають холодну воду й охолоджують пляшки, насос зупиняють. Після пастеризатора пляшки надходять на транспортер і доставляються до етикетувального автомата.

Пластинчастий теплообмінник продуктивністю до 10 м³/год використовують як для охолодження сусла, так і пастеризації пива та стерилізації сусла. Основними робочими елементами його є пластини, набрані в пакет (рис. 1.1).

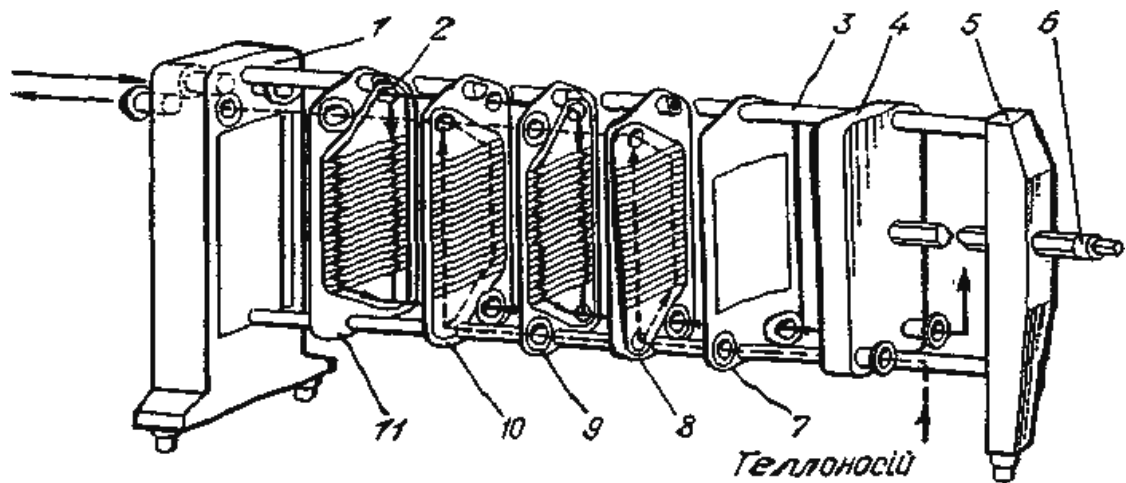


Рис.1.1.Схема пластинчастого теплообмінника (пастеризатора і холодильника)

Апарат зібраний із тонких штампованих сталевих плит 7—11, встановлених паралельно на штангах 3, кінці яких закріплені у стійках 1 і 5. За допомогою плити 4 і гвинта 6 пластини стискаються так, що між кожною парою утворюється вузький простір, через який тече рідина. Прокладки на пластинах розміщують так, щоб у результаті збирання апарата в ньому утворилися дві системи каналів: однією текла рідина, що обробляється (продукт), другою — холодний розсіл, холодна або гаряча вода, пара (теплоносій) залежно від того, для чого призначений апарат (охолодження, стерилізація, дерерація, газування води, карбонізація пива). Продукт, який подається у верхній кутовий канал 2, тече каналами 8 і 9, 10 та 11, а холодоагент рухається назустріч каналами між пластинами 7 і 8, 9 та 10. Таким чином, потоки продукту й теплоносія чергуються і теплообмін у кожному потоці відбувається через дві поверхні. Якщо кількість потоків збільшується, то в стільки ж разів підвищується продуктивність теплообмінника. Пластинчасті теплообмінники мають у кілька разів більшу поверхню теплопередачі порівняно з трубчастими. У них можна на одній станині встановлювати секції різного призначення: для нагрівання й охолодження продукту та регенерації теплоти.

1.2. Тепловий баланс процесу охолодження пива

Тепловий баланс в холодильній установці.

$$Q_1 - Q_2 - Q_3 = 0 \quad (1.2)$$

Складемо рівняння теплового балансу для передачі тепла від пива до внутрішньої стінки холодильної установки, враховуючи, що швидкість виділення тепла в холодильній установці постійна. Тепло, яке виділяється в результаті охолодження, витрачається на нагрівання поверхні стінки апарата.

Рівняння теплового балансу, яке характеризує передачу тепла від пива до внутрішньої стінки холодильної установки, має вигляд:

$$Q_1 = k_1 A(T - T_1) + W_1 C_1 \frac{dT}{dt}, \quad (1.3)$$

де Q_1 - кількість тепла, що передається від пива до внутрішньої стінки холодильної установки,

k_1 - коефіцієнт тепловіддачі від речовини до стінки холодильної установки,

A - поверхня теплообміну,

T - температура пива в холодильній установці,

T_1 - температура внутрішньої стінки холодильної установки ,

W_1 - маса пива,

C_1 - питома теплоємність пива.

Рівняння теплового балансу, яке характеризує передачу тепла від внутрішньої до зовнішньої стінок холодильної установки наступне:

$$Q_2 = k_2 A(T_1 - T_2) + W_2 C_2 \frac{dT}{dt}, \quad (1.4)$$

де Q_2 - кількість тепла, що передається від внутрішньої до зовнішньої стінок холодильної установки;

k_2 - коефіцієнт тепловіддачі від внутрішньої до зовнішньої стінок холодильної установки;

A - поверхня теплообміну;

T_1 - температура внутрішньої стінки;

T_2 - температура зовнішньої стінки;

W_2 - маса стінок холодильної установки;

C_2 - питома теплоємність матеріалу стінки.

Рівняння теплового балансу, яке характеризує передачу тепла від зовнішньої поверхні до холодоагента:

$$Q_3 = k_3 A (T_2 - T_c) + W_3 C_3 \frac{dT}{dt}, \quad (1.5)$$

де Q_3 - кількість тепла, що передається від зовнішньої стінки, до холодоагента;

k_3 - коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої стінки до холодоагенту;

A - поверхня теплообміну;

T_2 - температура зовнішньої стінки;

T_c - температура холодоагенту;

W_3 - маса холодоагента;

C_3 - питома теплоємність холодоагента.

1.3. Обґрунтування номінальних значень параметрів технологічного процесу та допустимих відхилень від цих значень

На основі технологічного регламенту і аналізу досліджень процесу встановлені номінальні значення параметрів та їх допустимі відхилення. Ці значення є необхідні для ведення технологічного процесу з оптимальними показниками якості.

В процесі пастеризації, пиво поступає на вході із номінальним значенням витрати $36 \text{ м}^3 / \text{год}$ ($\pm 0,5 \text{ м}^3 / \text{год}$); витрата пари, яка буде нагрівати теплоносій повинна мати значення $270 \text{ кг} / \text{год}$ ($\pm 5 \text{ кг} / \text{год}$); витрата гліколю на охолодження пива - $25 \text{ м}^3 / \text{год}$ ($\pm 1 \text{ м}^3 / \text{год}$). Температура пива після пастеризатора 70°C ($\pm 1^\circ \text{C}$). Потім воно іде на вхід в охолоджувач через два теплообмінники з температурою близько $10,5^\circ \text{C}$, де охолоджується до температури 4°C ($\pm 1^\circ \text{C}$) і подається на розлив. Пастеризаційне число повинно дорівнювати 15 ($\pm 0,5$).

Номінальні значення параметрів зведені в технологічну карту, яка наведена нижче.

Таблиця 1.1.

Технологічна карта процесу пастеризації та охолодження пива

№ п/п	Назва параметру	Одиниця вимірювання	Номінальне значення	Допустиме відхилення
1	Витрата пива на пастеризацію	$m^3 / год$	36	$\pm 0,5$
2	Витрата пари	$кг / год$	270	± 5
3	Витрата гліколю на охолодження	$m^3 / год$	25	± 1
4	Температура пастеризації	$^{\circ}C$	70	± 1
5	Температура пива після охолоджувача	$^{\circ}C$	4	± 1
6	Пастеризаційне число		15	$\pm 0,5$

1.4.Складання структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрам об'єкта

На основі аналізу технологічного апарата (процесу), як об'єкта керування, визначають координати керування об'єктом. Їх поділяють на вхідні керуючі, вхідні збуджуючі і вихідні параметри. В більшості випадків вихідні параметри стабілізують або змінюють за певним законом в часі. Вихідні параметри, в свою чергу, поділяють на три групи: параметри, за зміною яких організують роботу технологічного процесу, (часто називають векторами регулюючих величин), параметри, які впливають на вихідні величини (параметри), але керування за цими параметрами складне або неможливе (ці параметри називають незалежними, збуджуючими величинами, діями), параметри (фактори), що зв'язані зі специфікою робота апарата. З врахуванням аналізу технологічного процесу і поділу параметрів на вихідні, регулюючі і збуджуючі фактори складають структурну схему взаємозв'язку між технологічними параметрами і факторами. На структурній схемі показують технологічний об'єкт у вигляді прямокутника, вхідні і вихідні величини, лінії взаємозв'язку між окремими параметрами і факторами.

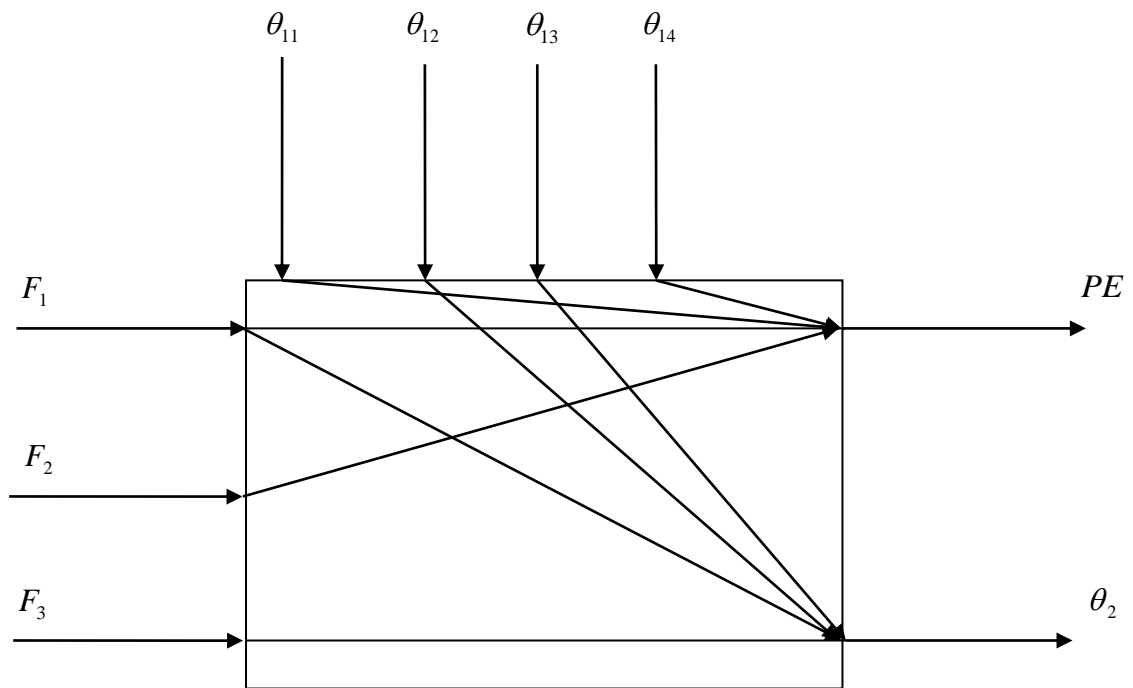


Рис. 1.2. Структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання

На рис. 1.2 зображена структурна схема взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта регулювання яким є пластинчастий теплообмінник, що використовується як пастеризатор так і як охолоджувач пива.

Вхідні величини:

F_1 - витрата пива;

F_2 - витрата теплоносія;

F_3 - витрата холодоагенту;

Збурюючі величини:

θ_{11} - температура пива на вході в пастеризатор;

θ_{12} - температура пива на вході в охолоджувач;

θ_{13} - температура холодоагенту;

θ_{14} - температура теплоносія;

Вихідні величини:

PE - пастеризаційне число;

θ_2 - температура пива після охолодження.

2. СИНТЕЗ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ПИВА

2.1. Аналіз структурної схеми взаємозв'язку між технологічними параметрами об'єкта

Вплив вхідних величин:

1) *Витрата пива*. Від витрати пива залежить час перебування пива у пастеризаторі, цей час відповідно впливає на пастеризаційне число. При збільшенні витрати час пастеризації зменшується, що призводить до зменшення пастеризаційного числа.

Витрата пива впливає також і на його температуру на виході. Із збільшенням витрати зменшується час охолодження, температура пива на виході збільшується.

2) *Витрата теплоносія*. Витрата теплоносія впливає на число пастеризації, адже зі збільшенням витрати теплоносія збільшується температура пастеризації, що збільшує пастеризаційне число.

3) *Витрата холодоагента*. Витрата холодоагенту прямо пропорційна до температури пива на виході з пластинчастого теплообмінника.

Вплив збурюючих величин:

1. *Температура пива на вході в пастеризатор*. Впливає на пастеризаційне число. Вплив – прямо пропорційний.
2. *Температура пива на вході в охолоджувач*. Впливає на температуру пива на виході. Із збільшенням температури на вході в охолоджувач, температура пива на його виході також зростає.
3. *Температура холодоагента*. Температура холодоагента впливає обернено пропорційно на температуру пива на виході з теплообмінника.
4. *Температура теплоносія*. Ця температура прямо пропорційно впливає на пастеризаційне число..

2.2. Визначення об'єму автоматизації технологічного процесу

Проектована система автоматизації повинна надійно захистити технологічне обладнання, оперативний персонал, довкілля, забезпечити найбільшу кількість функціональних ознак. Обсяг одержуваної технологічної інформації повинен бути достатнім для розрахунку техніко-економічних показників та прогнозування надійної роботи системи.

Автоматизоване керування процесом пастеризації та охолодження пива передбачає обов'язкову участь оператора.

Для виконання керування всіма операціями з одного пункту автоматизована система керування повинна мати наступні підсистеми:

- дистанційний контроль;
- дистанційне керування;
- сигналізацію;
- захист і автоматичне регулювання.

До регульованих технологічних параметрів відносять такі вихідні величини об'єкта, які найбільше впливають на проходження технологічного процесу. Регульованими технологічними параметрами у процесі пастеризації та охолодження пива є:

- пастеризаційне число;
- температура пива на виході з апарата.

Для того, щоб мати можливість керувати з одного місця та здійснювати дистанційний контроль за об'єктом керування, необхідно на це місце вивести показання всіх контрольованих параметрів.

Контрольовані технологічні параметри вибирають так, щоб їх кількість була мінімальною, але достатньою для отримання повної інформації про хід технологічного процесу.

У відповідності з діючими директивними вказівками контролюються наступні параметри процесу пастеризації пива:

- витрата пива;
- температура теплоносія;

- температура пива на виході з пастеризатора;
- температура пива на виході з охолоджувача.

Всі ці параметри підлягають неперервному контролю з необхідністю їх показів та реєстрації. Для полегшення контролю оператором за ходом процесу пастеризації та охолодження пива застосовують світлову та звукову сигналізацію, котра спрацьовує при відхиленні найбільш важливих параметрів на певні значення. Сигналізації підлягають параметри, які можуть призвести до аварії або істотно порушити технологічний режим. Такими параметрами є пастеризаційне число та температура пива на виході з апарату. Сигналізація відхилень цих параметрів здійснюється від їх індивідуальних пристроїв. Ці сигнали виносяться на лампове табло. Для полегшення виявлення спрацювання сигналу сигналізації відхилення, вона виконана з блиманням кожного сигналу по кожному параметру, що відхилився за допустимі межі.

2.3. Визначення функціональних ознак системи автоматизації

Таблиця 2.1

Функціональні ознаки системи автоматизації

№ п/п	Обсяг автоматизації Назва параметра	Показ	Реєстрація	Підсумовування	Усереднення	Визначення відхилення	Розрахунок техніко-економічних показників	Оптимізація	Сигналізація	Дистанційне керування	Захист	Блокування	Автоматичне регулювання
	Температура теплоносія	+	+										+
	Витрата пива	+	+										+
	Температур пива на виході з пастеризатора	+	+										+
	Пастеризаційне число	+	+				+		+				+
	Температура пива на виході з охолоджувача	+	+						+				+

Функціональні ознаки системи автоматизації наведені в таблиці 2.1.

2.4. Порівняльний аналіз існуючих схем автоматизації технологічного процесу

Схема з підгрівом пива на вході пастеризованим пивом

У цій схемі (рис 2.1) пиво, що входить в апарат підігривається вже пастеризованим пивом (в теплообміннику 1), далі воно надходить у пастеризатор 2, де підігривається до необхідної температури. Після цього воно витримується при цій температурі заданий час для досягнення потрібного пастеризаційного числа. Після витримки пиво охолоджується вхідним пивом і поступає на теплообмінник-охолоджувач 3. Температура пива на виході з апарата регулюється зміною подачі гліколю у теплообмінник 3. Вода, що нагріває пиво у пастеризаторі, нагрівається паром у теплообміннику 4. Регулювання пастеризаційного числа здійснюється шляхом зміни подачі теплоносія у теплообмінник 2.

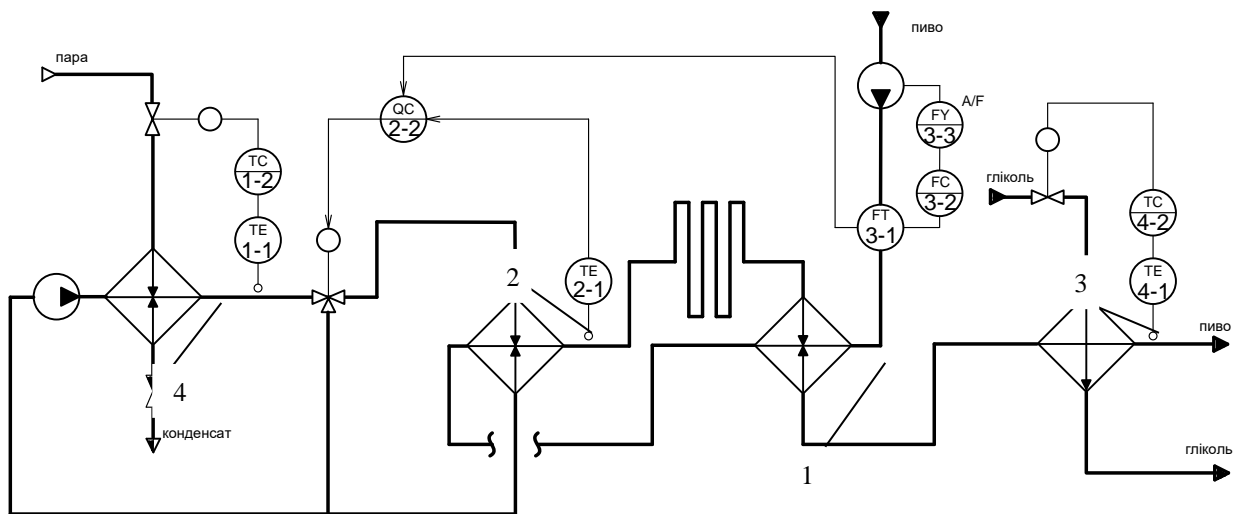


Рис.2.1. Схема автоматизації з підгрівом пива на вході пастеризованим ПИВОМ

Ця схема є енергоекономічною, адже одразу вирішується задача підгріву пива на вході у пастеризатор і охолодження вже пастеризованого пива. Проте введення теплообмінника 1 може негативно вплинути на якісні показники пастеризованого пива, адже процес пастеризації пива починається вже тут і ми

не можемо його контролювати. Тому далі ми розглянемо схему без секції підігріву вхідного пива.

Схема без підігріву пива на вході пастеризованим пивом

Ця схема (рис.2.2) аналогічна до попередньої окрім того, що у ній відсутній попередній нагрів вхідного пива вже пастеризованим пивом. А це значить, що ми можемо чітко контролювати число пастеризації і гарантувати відповідну якість товару. Проте енергетичні затрати при застосуванні цієї схеми значно більші.

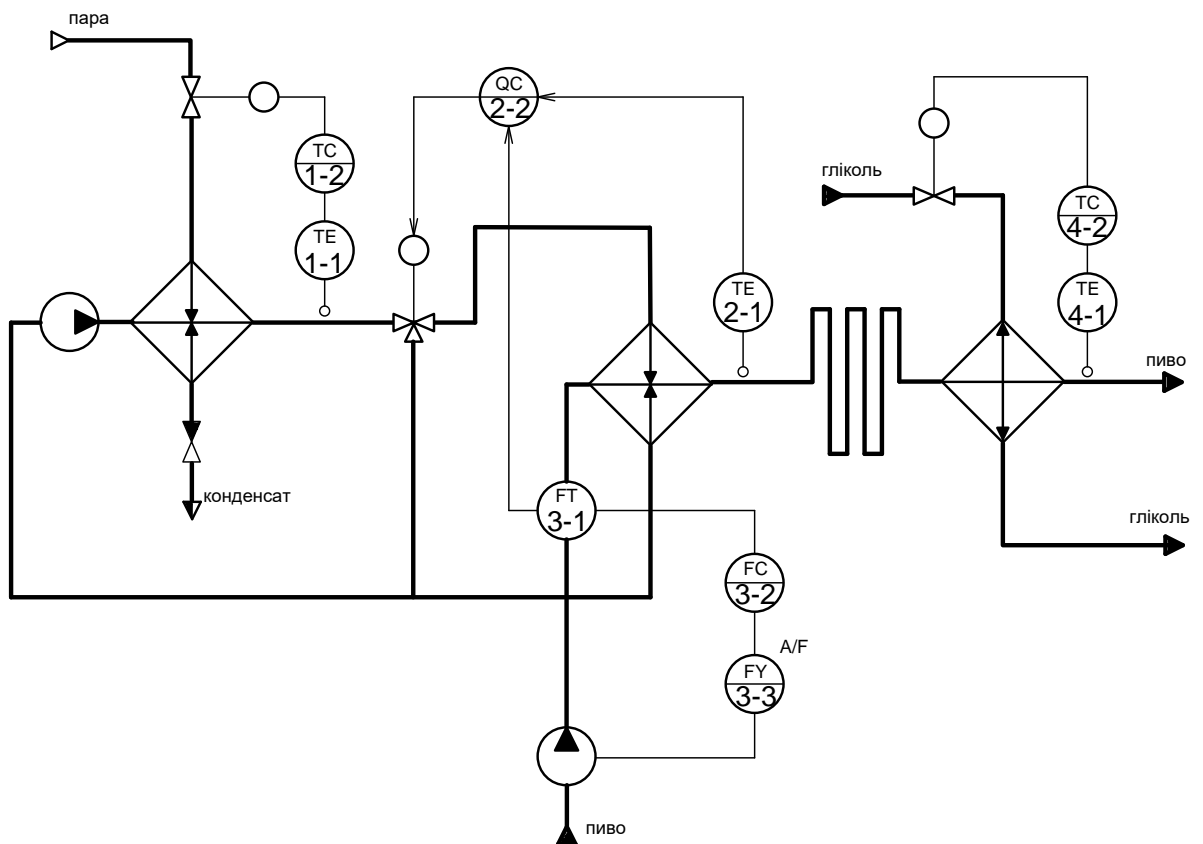


Рис.2.2. Схема автоматизації без підігріву пива на вході пастеризованим ПИВОМ

2.5. Синтез оптимальної спрощеної системи автоматизації для заданих умов роботи об'єкта

У процесі пастеризації пива надамо перевагу точному контролю якісних параметрів пива, тому вибираємо схему автоматизації без початкового підігріву пива пастеризованим пивом. Хоч це і призведе до енергетичних втрат, але якість продукції буде гарантована.

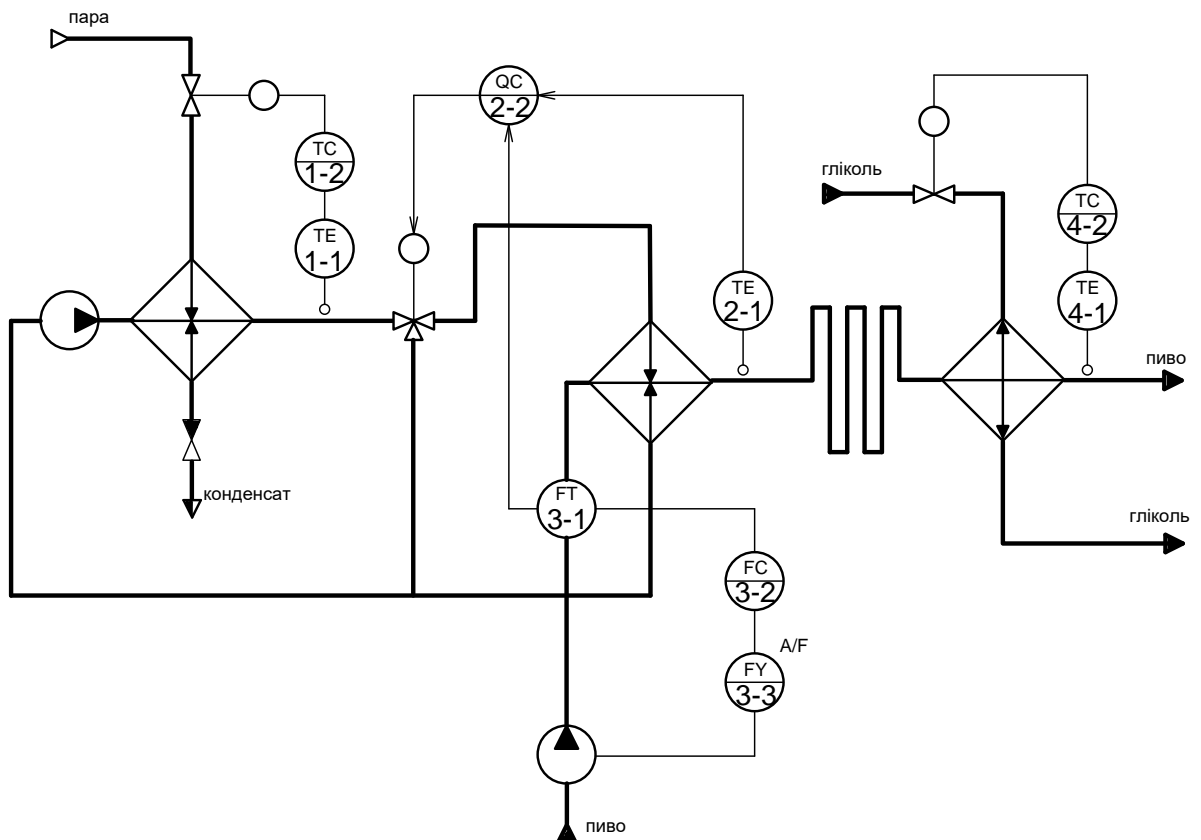


Рис.2.3. Оптимальна спрощена схема автоматизації без підігріву пива на вході пастеризованим пивом

2.6. Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір первинних вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів

Вибираємо локальні технічні засоби (первинні вимірювальні перетворювачі, вторинні прилади та регулюючі клапани) автоматизації для кожного контуру регулювання.

1. Контур регулювання температури теплоносія. Для вимірювання температури теплоносія застосуємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, основна похибка не більш $\pm 0.7\%$. вихідний сигнал якого 4-20 мА, як

первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100. Для реєстрації значень температур використовуємо цифровий багатоточковий самописець eZtrend Qxe фірми Honeywell з 12 каналами, який працює з вхідними уніфікованими сигналами 4-20мА. Для зміни витрати пари, що надходить у теплообмінник 1 встановимо регулюючий клапан типу SAMSON 3241-1 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонером типу 3767 на лінії подачі пари.

2. Контур регулювання пастеризаційного числа. Для вимірювання температури теплоносія застосуємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, основна похибка не більш $\pm 0.7\%$. вихідний сигнал якого 4-20 мА, як первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100. Для вимірювання витрати пива застосуємо давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100. Для зміни витрати теплоносія, що надходить до теплообмінника 2 встановимо трьохходовий регулюючий клапан типу SAMSON 3244-7 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонером типу 3767 на лінії подачі теплоносія.

3. Контур регулювання витрати пива. Для вимірювання витрати пива використовується давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100.

Сигнал з вимірювального перетворювача поступає на контролер, який здійснює регулювання витрати пива шляхом зміни швидкості обертання двигуна насоса. Це здійснюється зміною частоти струму живлення двигуна. Для цього використаємо частотний перетворювач Danfoss vlt akd 2803.

4. Контур регулювання температури пива після охолодження. Для вимірювання температури теплоносія застосуємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, основна похибка не більш $\pm 0.7\%$. вихідний сигнал якого 4-20 мА, як первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100. Для зміни витрати гліколю, що надходить у теплообмінник 3 встановимо регулюючий клапан типу SAMSON 3241-1 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонером типу 3767 на лінії подачі гліколю.

Якщо значення температури пива стає більше 5°C або меншим 0°C спрацьовує сигналізація.

Вибір мікропроцесорних засобів автоматизації

Для керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива застосуємо програмований мікропроцесорний контролер S7 – 300.

Конструктивні особливості контролера S7 – 300

Програмовані контролери S7 - 300 можуть включати до свого складу:

- Модуль центрального процесора (CPU). Залежно від міри складності вирішуваних завдань в програмованому контролері можуть використовуватися більше 20 типів центральних процесорів.
- Блоки живлення (PS) для живлення контролера від мережі змінного або постійного струму.
- Сигнальні модулі (SM), призначені для введення і виведення дискретних і аналогових сигналів і модулі із вбудованими захисними Ex – бар'єрами. Підтримуються стандартні номінальні статичні характеристики термоперетворювачів опору і термопар.
- Комунікаційні процесори (CP) - інтелектуальні модулі, що виконують автономну обробку комунікаційних завдань в промислових мережах AS, - Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, PROFINET і системах PtP зв'язку. Застосування завантажуваних драйверів для CP 341 дозволяє розширити комунікаційні можливості контролера підтримкою обміну даними в мережах MODBUS RTU і Data Highway. Для організації модемного зв'язку у складі S7 - 300 можуть використовуватися комунікаційні модулі сімейства SINAUT ST7.
- Функціональні модулі (FM) - інтелектуальні модулі, оснащені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати завдання автоматичного регулювання. Цілий ряд функціональних модулів здатний продовжувати виконання покладених на них завдань навіть у разі зупинки центрального процесора.
- Інтерфейсні модулі (IM) для підключення стійок розширення до базового блоку контролера, що дозволяє використовувати в системі локального введення-виведення до 32 модулів різного на значення. Модулі IM 365 дозволяють

створювати 2-рядні конфігурації для модулів ІМ 360 і 2-, 3 - і 4-рядні конфігурації для модулів ІМ-361.

Конструкція контролера відрізняється високою гнучкістю і зручністю обслуговування, а саме: :

- усі модулі встановлюються на профільну шину S7 - 300 і фіксуються в робочих положеннях гвинтами. Об'єднання модулів в єдину систему виконується за допомогою шинних з'єднувачів (входять в комплект постачання кожного модуля), що встановлюються на тильну частину корпусу.
- довільний порядок розміщення модулів в монтажних стійках. Фіксовані посадочні місця займають тільки модулі PS, CPU і ІМ. Наявність знімних фронтальних з'єднувачів (замовляються окремо), модулів, що дозволяють виробляти швидку заміну, без демонтажу їх зовнішніх ланцюгів і операцій підключення зовнішніх ланцюгів модулів, що спрощують виконання. Механічне кодування фронтальних з'єднувачів унеможливорює виникнення помилок при заміні модулів.
- застосування гнучких і модульних з'єднувачів TOP Connect, монтажних робіт, що істотно спрощують виконання, і що знижують час їх виконання.

Центральні процесори S7 - 300

Усі центральні процесори S7 - 300 характеризуються такими показниками:

- висока швидкодія;
- завантажена пам'ять у виді мікро карти пам'яті ММС місткістю до 8 МБ;
- розвинені комунікаційні можливості, одночасна підтримка великої кількості активних комунікаційних з'єднань;
- робота без буферної батареї.

ММС використовується для завантаження програми, збереження даних при перебоях в живленні CPU, зберігання архіву проекту з символічною таблицею і коментарі, а також для архівації проміжних даних. Центральні процесори CPU 3ххС і CPU 31хТ-2 DP оснащені набором вбудованих входів і виходів, а їх операційна система доповнена підтримкою технологічних функцій, що дозволяє використовувати як готові блоки управління.

Типовий набір вбудованих технологічних функцій дозволяє вирішувати завдання швидкісного обчислення, виміри частоти або тривалості періоду, ПД-регулювання, позиціонування, переведення частини дискретних виходів в імпульсний режим. Усі центральні процесори S7 - 300 оснащені вбудованим інтерфейсом MPI, який використовується для програмування, діагностики і побудови простих мережевих структур. У CPU 317 перший вбудований інтерфейс має подвійне призначення і може використовуватися для підключення або до мережі MPI, або до мережі PROFIBUS DP.

Цілий ряд центральних процесорів має другий вбудований інтерфейс:

- CPU 31...-2 DP мають інтерфейс ведучого/веденого пристрою PROFIBUS DP;
- CPU 31...C - 2 PtP мають інтерфейс для організації PtP зв'язку;
- CPU 31...-...PN/DP оснащені інтерфейсом Industrial Ethernet, що забезпечує підтримку стандарту PROFINet;
- CPU 31...T - 2 DP оснащені інтерфейсом PROFIBUS DP/Drive, призначеним для обміну даними і синхронізації роботи перетворювачів частоти, ведених DP пристроїв, що виконують функції.

Система команд центральних процесорів включає до свого складу більше 350 інструкцій і дозволяє виконувати:

- логічні операції, операції зрушення, обертання, доповнення, операції порівняння, перетворення типів даних, операції з таймерами і лічильниками.
- арифметичні операції з фіксованою і плаваючою точкою, витягання квадратного кореня, логарифмічні операції, тригонометричні функції, операції з дужками.
- операції завантаження, збереження і переміщення даних, операції переходів, виклику блоків, і інші операції.

Для програмування і конфігурації S7 - 300 використовується пакет STEP 7.

Крім того, для програмування контролерів S7 - 300 може використовуватися також увесь набір програмного забезпечення Runtime, а також широкий спектр інструментальних засобів проектування.

Програмовані контролери SIMATIC S7-300 призначені для вирішення задач середньої потужності. Для побудови відносно простих і недорогих систем автоматичного керування і можуть використовуватися для заміни існуючих релейно-контактних схем. Сімейство включає в свій склад модулі центральних процесорів, модулі введення-виведення дискретних і аналогових сигналів, функціональні модулі, а також комунікаційні модулі.

Контролери підтримують потужну систему команд і здатні виконувати логічні операції, математичні операції з фіксованою і плаваючою крапкою, підтримувати алгоритми ПІД - регулювання і позиціонування, тощо. Великою перевагою є те, що в нього є віддалені станції, які можуть бути розташовані на відстанні до 1000 м.

Контролери здатні працювати в реальному часі і можуть бути використані як для побудови вузлів локальної автоматики, так і систем розподіленого введення-виведення з організацією обміну даними через PPI (Point to Point Interface), MPI (Multi Point Interface), AS-Interface, PROFIBUS, Industrial Ethernet, Internet, а також модемний зв'язок.

Характерні особливості сімейства SIMATIC S7-300:

- час виконання логічних інструкцій не перевищує 0.1 мс;
- наявність швидкісних лічильників зовнішніх подій;
- наявність швидкодіючих входів апаратних переривань;
- можливість нарощування кількості обслуговуваних входів-виходів;
- наявність імпульсних виходів (широотно- або частотно-імпульсна модуляція);
- годинник реального часу (вбудовані або встановлювані у вигляді знімного модуля);
- могутній набір інструкцій мови програмування;
- один або два порти RS 485 універсального призначення;
- функції ведучого і веденого пристрою PROFIBUS DP, які забезпечуються центральним процесором;
- функції обміну даними через Industrial Ethernet;
- дружня оболонка програмування STEP 7;

- трирівневий парольний захист програм користувача;
- можливість роботи з пристроями людино-машинного інтерфейсу.

Для керування процесом пастеризації і охолодження пива потрібно обрати тип процесора, модуля введення-виведення дискретних сигналів та блоку живлення. Спершу виберу тип процесора. Для цього ознайомлюсь з їх конструктивними особливостями.

Центральні процесори сімейства S7-300 мають наступні конструктивні особливості:

- наявність двох модифікацій центральних процесорів кожного типу, що відрізняються наявністю вбудованих аналогових і дискретних входів-виходів, і їх відсутністю. Ті що мають вбудованні входи-виходи позначаються буквою С (наприклад CPU314C-2DP);
- універсальне призначення входів:
 - стандартні входи введення дискретних сигналів;
 - входи апаратних переривань;
 - входи вбудованих швидкісних лічильників;
- наявність шини розширення системи введення-виведення;
- вбудовані швидкісні лічильники (60 кГц в CPU 316C-2DP);
- 4 імпульсних виходи (2,5 кГц в в CPU 316C-2DP) у всіх моделях постійного струму;
- перемикач вибору режимів роботи;
- опціональний (у вигляді знімного модуля) або вбудований годинник реального часу;
- додаткова пам'ять у вигляді карти пам'яті до 8 МБ;
- можливість використання імітаторів вхідних сигналів для відладки програми;
- робота без буферної батареї;
- одночасне підтримання багатьох протоколів зв'язку.
- позиціонування по одній осі.

З врахуванням того, що для керування процесом пастеризації та охолодження пива нам потрібні 4 аналогові входи, 2 аналогових виходи, та 3 дискретні виходи. Для даного процесу нам підійде центральний процесор CPU 316C-2DP без додаткових розширень. Він має на своєму борту 24 дискретних входів, 16 дискретних виходів, 5 аналогових входів та 2 аналогових виходи. Блок живлення вибираємо типу PS 307 5A, який має 3 виходи по 24 В постійного струму.

В таблиці 2.2. наведено основні технічні характеристики центрального процесора CPU 316C-2DP

Таблиця 2.2

Технічні характеристики центрального процесора CPU 316C-2DP

Пам'ять програм		96 Кбайт	
Пам'ять даних		64 Кбайт до 8 Мбайт	
Кількість аналогових входів		5	
Кількість аналогових виходів		2	
Кількість дискретних входів		24	
Кількість дискретних виходів		16	
Кількість модулів розширення		до 12	
Кількість таймерів/лічильників/прапорців		256/256/2048	
Мови програмування		LAD,FBD,STL	
Час виконання логічної інструкції		0.1 мкс	
Область відображення	для дискретних каналів	введення	124-126
		виведення	124-125
введення-виведення	для аналогових каналів	введення	752-761
		виведення	752-755

Мова програмування - STEP 7

Операції порівняння

Функції порівняння порівнюють значення двох числових змінних, що відносяться до типів даних INT, DINT і REAL, на предмет рівності, нерівності, більше, більше або рівно, менше, менше або рівно. Після операції порівняння видається її результат у вигляді двійкового значення. Функції порівняння можуть бути оформлені у вигляді блокових елементів, які виконують одну із операцій порівняння (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3

Операції порівняння

Функція порівняння	Назва блокового елемента порівняння в залежності від типу даних		
	INT	DINT	REAL
Порівняння "рівне"	CMP ==I	CMP ==D	CMP ==R
Порівняння "не рівне"	CMP <>I	CMP <>D	CMP <>R
Порівняння "більше"	CMP >I	CMP >D	CMP >R
Порівняння "більше або рівне"	CMP >=I	CMP >=D	CMP >=R
Порівняння "менше"	CMP <I	CMP <D	CMP <R
Порівняння "менше або рівне"	CMP <=I	CMP <=D	CMP <=R

Блоковий елемент порівняння (рис. 2.4)



Рис. 2.4. Блоковий елемент порівняння

У прикладі: операція порівняння "рівно" між числами INT

Окрім немаркованого двійкового входу блоковий елемент функції порівняння має два входи IN1 і IN2 і немаркований двійковий вихід. "Заголовок" в блоковому елементі ідентифікує операцію порівняння (CMP

означає compare порівняння) і тип виконуваного порівняння (наприклад, під CMP ==I мається на увазі порівняння двох чисел типу INT на предмет рівності).

У ланцюзі компаратор можна поставити замість контакту. Немаркований вхід і вихід служать для з'єднання інших (двійкових) програмних елементів. Порівнювані значення подаються на входи IN1 і IN2, результат порівняння - на виході. Успішне порівняння еквівалентно замкнутому контакту ("струм" протікає через компаратор). Якщо порівняння не успішне, то контакт розімкнений. Вихід компаратора завжди має бути підключений.

Операції перетворення типів даних

Функція перетворення виконується, якщо на вході присутня "1" (якщо струм тече у вході EN). Якщо під час перетворення виникне помилка, то вихід ENO встановлюється в "0"; інакше він встановлюється в "1". Якщо виконання функції не дозволено (EN = "0"), перетворення не відбувається, і ENO також обнулений (див. блок-схему нижче).

На рисунку 2.5 показано приклад перетворення. Значення змінної "ConvDINT" інтерпретується як число типу DINT і зберігається як число типу REAL в змінній "ConvREAL". Функції перетворення виконують конвертування, навіть якщо при використанні операндів з абсолютними адресами типи даних не були вказані.



Рис. 2.5. Приклад функції перетворення

Функція перетворення в колі (LAD)

Є можливість розміщувати контакти і сполучати їх послідовно і паралельно перед входом EN і після виходу ENO.

Блоковий елемент перетворення може бути поставлений після Т-вітки або знаходитись на вітці, яка безпосередньо з'єднана з лівою направляючою (шиною живлення). Ця вітка також може мати контакти перед входом EN і не може бути самою верхньою гілкою.

Пряме підключення до лівої направляючої дозволяє з'єднати блокові елементи перетворення паралельно. Коли блокові елементи підключаються паралельно, необхідна котушка для завершення кола. Якщо ви не виконуєте перевірку на наявність помилки, призначте котушці "порожній" операнд, наприклад біт тимчасових локальних даних.

Блокові елементи перетворення можна з'єднати послідовно. Якщо вихід ENO попереднього блокового елемента сполучений з входом EN наступного, то останній буде оброблятися тільки за умови, якщо попередній елемент спрацював без помилок.

Якщо компонується декілька блокових елементів перетворення в одному колі (паралельно лівою живлячою направляючою і надалі послідовно) блокові елементи самої верхньої вітки обробляються зліва направо, а потім елементи другої вітки зліва направо і так далі.

Перетворення чисел типів INT і DINT

У таблиці 2.4 показані функції перетворення для чисел типів INT і DINT. Для входів і виходів повинні застосовуватися змінні певних типів даних чи операнди відповідних розмірів, що абсолютно адресуються (наприклад, операнд розміром в слово для типу даних INT).

Таблиця 2.4

Функції перетворення для чисел типів INT і DINT

Перетворення типу даних	Блоковий елемент	Тип даних параметра	
		IN	OUT
INT в DINT	I_DI	INT	DINT
INT в BCD	I_BCD	INT	WORD
DINT в BCD	DI_BCD	DINT	DWORD
DINT в REAL	DI_R	DINT	REAL

Перетворення з INT в DINT

Функція I_DT інтерпретує значення на вході IN як число типу даних INT і пересилає його в молодше слово виходу OUT. Сигнальний стан 15-го біта(знак) переноситься в біти з 16-го по 31-ий старшого слова виходу OUT. Перетворення з INT в DINT про помилки не повідомляє.

Перетворення з DINT в REAL

Функція DI_R інтерпретує значення на вході IN як число типу даних DINT і перетворить його в число типу REAL на виході OUT. Оскільки число у форматі DINT має вищу точність, ніж число у форматі REAL, то при конвертації може відбутися заокруглення. Число типу REAL заокруглюється до наступного цілого числа (відповідно до функції ROUND). Функція DI_R про помилку не повідомляє.

Арифметичні операції

Арифметичні функції комбінують два значення відповідно до основних арифметичних операцій додавання, віднімання, множення і ділення. Арифметичні функції можуть бути застосовані до змінних типів INT, DINT і REAL (таблиця 2.5).

Таблиця 2.5

Арифметичні операції

Арифметична функція	З типом даних		
	INT	DINT	REAL
Додавання	ADD_I	ADD_DI	ADD_R
Віднімання	SUB_I	SUB_DI	SUB_R
Множення	MUL_I	MUL_DI	MUL_R
Ділення з часткою в якості результату	DIV_I	DIV_DI	DIV_R
Ділення із залишком в якості результату	-	MOD_DI	-

Представлення операцій

На рис. 2.6. наведено приклад арифметичного блокового елемента додавання цілочисельних змінних.



Рис. 2.6. Додавання цілочисельних змінних

Окрім входу дозволу (enable input) EN і виходу дозволу (enable output) ENO блоковий елемент арифметичної функції має два входи IN1 і IN2 і вихід OUT. "Заголовок" в блоковому елементі ідентифікує виконувану арифметичну дію (ADD_I, наприклад, означає додавання чисел типу INT). Значення операндів подаються на входи IN1 і IN2, результат обчислення виводиться на виході OUT. Входи і виходи можуть мати різні типи даних в відповідності від арифметичної функції. Використовувані змінні мають бути того ж типу даних, що і входи або виходи. Якщо використовують для операндів абсолютні адреси, то розміри операндів повинні відповідати типам даних. Так, можна застосувати операнд розміром в слово для типу даних INT.

Виконання функцій

Арифметична функція виконується, якщо на вході EN присутня "1" (рис. 2.7). Якщо під час обчислення виникає помилка, то вихід ENO встановлюється в "0", інакше він встановлюється в "1". Якщо виконання функції не дозволене (EN = "0"), то обчислення не проводиться, і ENO також буде обнулений.

Якщо головне реле управління (MCR) активоване, то вихід OUT встановлюється в нуль, коли арифметична функція обробляється (EN = "1"). MCR не впливає на вихід ENO.

ЯКЩО EN == "1" або не використовується		
ТО		ІНАКШЕ
OUT:= IN1 Cfst IN2		
ЯКЩО виникла помилка		
ТО	ІНАКШЕ	
ENO:= "0"	ENO:= "1"	ENO:= "0"

Cfst - арифметична функція

Рис. 2.7. Виконання арифметичних функцій

Під час виконання арифметичної функції можуть виникнути наступні помилки:

- вихід за межі діапазону (переповнення) в обчисленнях з типами INT і DINT;
- зникнення значущих розрядів і переповнення в обчисленнях з типом REAL;
- недійсне (неприпустиме) число REAL в обчисленнях з типом REAL.

На рисунку 2.8 наведені приклади для кожного типу даних. Арифметична функція виконує обчислення відповідно до певних параметрів, навіть якщо не були оголошені типи даних при використанні операндів з абсолютними адресами.

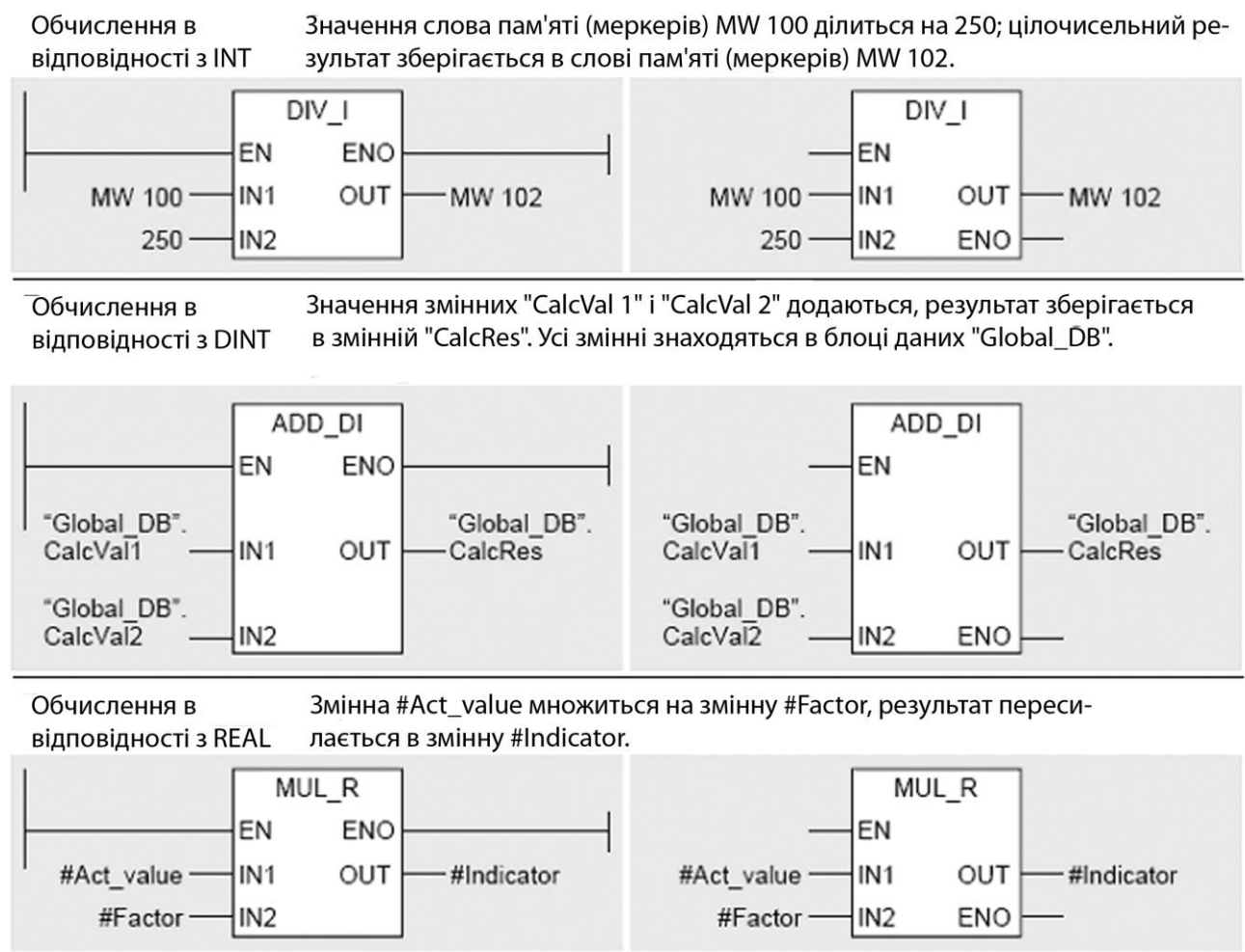


Рис.2.8. Приклади арифметичних функцій

Арифметичні функції в колі (LAD)

Сам арифметичний блоковий елемент може бути поміщений після Т-вітки і у вітці, підключеній безпосередньо до шини живлення (ліва лінія). Ця вітка

також може мати контакти перед входом EN і не може бути самою верхньою віткою.

Пряме з'єднання з лівою направляючою означає, що можна підключити арифметичні блокові елементи паралельно. Коли блокові елементи підключаються паралельно, вимагається котушка для завершення кола. Якщо не робити перевірку на наявність помилки, то призначають катушці "порожній" операнд, до прикладу, біт тимчасових локальних даних.

Можна з'єднати арифметичні блокові елементи послідовно. Якщо вихід ENO попереднього блокового елемента сполучений з входом EN наступного, то останній спрацьовує тільки, якщо попередній елемент був оброблений без помилок.

Якщо компонується декілька арифметичних блокових елементів в одному колі, блокові елементи самої верхньої вітки обробляються зліва направо, потім елементи другої вітки зліва направо і так далі.

Обчислення з типом даних REAL

Числа типу REAL (дійсні) представляються внутрішньо як числа з плаваючою десятковою крапкою (комою) з двома діапазонами чисел. Один діапазон з повною точністю ("нормалізовані" числа з плаваючою точкою) і один діапазон з обмеженою точністю ("ненормалізовані" числа з плаваючою точкою). CPU S7 - 400 роблять обрахунки в обох діапазонах, CPU S7 - 300 - тільки в діапазоні з повною точністю. Якщо CPU S7 - 300 виконують обчислення, результат якого знаходиться в діапазоні з обмеженою точністю, то як результат повертається нуль, і повідомляється про виході з діапазону.

Додавання з типом REAL

Функція ADD_R інтерпретує значення на входах IN1 і IN2 як числа типу даних REAL. Вона складає два числа і зберігає суму на виході OUT. Після виконання обчислення біти стану CC0 і CC1 вказують на від'ємну, нульову або позитивну суму. Біти стану OV і OS фіксують будь-який вихід за межі діапазону.

У разі неприпустимого обчислення (одне з вхідних значень є недійсним числом типу REAL, або ви намагаєтеся додати $+\infty$ і $-\infty$) ADD_R повертає недійсне значення на вихід OUT і встановлює біти стану CC0, CC1, OV і OS в "1".

Віднімання з типом REAL

Функція SUB_R інтерпретує значення на входах IN1 і IN2 як числа типу даних REAL. Вона віднімає значення на вході IN2 зі значення на вході IN1 і зберігає різницю на виході OUT. Після обчислення біти стану CC0 і CC1 показують, яка різниця - від'ємна, нульова або позитивна. Біти стану OV і OS сигналізують про будь-яке порушення меж діапазону. У разі неприпустимого обчислення (одне з вхідних значень являється недійсним числом типу REAL, або ви намагаєтеся відняти $+\infty$ з $-\infty$) SUB_R повертає недійсне значення на вихід OUT і встановлює біти стану CC0, CC1, OV і OS в "1".

Множення з типом REAL

Функція MUL_R інтерпретує значення на входах IN1 і IN2 як числа типу даних REAL. Вона множить два значення і зберігає результат на виході OUT. Після виконання обчислення біти стану CC0 і CC1 вказують, який результат - негативний, дорівнює нулю або позитивний. Біти стану OV і OS сигналізують про будь-яке порушення меж діапазону. У разі неприпустимого обчислення (одне з вхідних значень являється недійсним числом, або ви намагаєтеся помножити ∞ на 0) MUL_R повертає недійсне значення на вихід OUT і встановлює біти стану CC0, CC1, OV і OS в "1".

Ділення з типом REAL

Функція DIV_R інтерпретує значення на входах IN1 і IN2 як числа типу даних REAL. Вона ділить значення на вході IN1 (ділене) на значення на вході IN2 (дільний) і передає частку на вихід OUT. Після обчислення біти стану CC0 і CC1 показують, частка – негативна, дорівнює нулю або позитивна. Біти стану OV і OS відображають будь-який вихід за межі діапазону. Ділення на нуль видає нульова частка і встановлює біти стану CC0, CC1, OV і OS в "1". У разі неприпустимого обчислення (одне з вхідних значень являється недійсним

числом типу REAL, або ви намагаєтеся поділити ∞ на ∞ або 0 на 0) DIV_R повертає недійсне значення на вихід OUT і встановлює біти стану CC0, CC1, OV і OS в "1".

Функціональний блок ПІД-регулювання SFB 41/FB 41 "CONT_C"

SFB/FB "CONT_C" (аналоговий регулятор) використовується в комплексі технічних засобів SIMATIC S7 програмованих логічних контролерів для регулювання технологічних процесів з аналоговими вхідними та вихідними змінними. Під час налаштування параметрів можна включити або виключити підфункції ПІД контролера, щоб адаптувати його до процесу. Встановити ці параметри за допомогою Parameter assignment tool (Шлях доступу: **Start > Simatic > Step7 > Assign PID Control parameters**).

Блок може застосовуватись як звичайний ПІД-регулятор з фіксованим завданням або для багатоконтурного регулювання в каскадній системі регулювання; чи як регулятор співвідношення. Функції CONT_C базуються на алгоритмах регулювання базового ПІД-регулятора з аналоговим сигналом, який при необхідності може бути розширений включенням блоку генератора імпульсів, що формує імпульсний вихідний сигнал для роботи з дво- або три позиційними виконавчими механізмами постійної швидкості.

Обчислення змінних в блоках регулятора буде правильним тільки в тому випадку коли блоки опитуються через однакові проміжки часу. Тому опитувати блоки контролера слід з циклічним перериванням OB (OB30 to OB38). Час опитування задається за допомогою параметру CYCLE.

Опис функціонального блоку

Блок SFB/FB має повний набір інструментів для ПІД регулювання з неперервним вихідним сигналом і можливістю ручного управління.

Далі поданий детальний опис підфункцій:

Обробка завдання. Завдання подається на вхід SP_INT у формі числа із плаваючою комою.

Обробка вхідної величини

Значення змінних можуть вводитись за допомогою периферійного обладнання (I/O) або у системі з плаваючою комою. Функція CRP_IN перетворює значення вхідної величини з периферійного обладнання PV_PER в формат з плаваючою комою, від -100% до +100% згідно з наступною формулою:

$$\text{Вихід CRP_IN} = \text{PV_PER} * \frac{100}{27648}$$

Функція PV_NORM нормує вихідний сигнал CRP_IN згідно з наступною формулою:

$$\text{Вихід PV_NORM} = (\text{вихід CPR_IN}) * \text{PV_FAC} + \text{PV_OFF}$$

PV_FAC по замовчуванню дорівнює 1, PV_OFF по замовчуванню дорівнює 0.

Обробка розузгодження (Error Signal)

Розузгодження формується як різниця між завданням і вхідною величиною. Щоб усунути малі постійні коливання, що виникають внаслідок квантування вихідної величини (наприклад під час імпульсної модуляції функцією PULSEGEN), введено зону нечутливості (DEADBAND) до зміни розузгодження. Якщо DEADB_W = 0, зона нечутливості відсутня.

Реалізація ПІД алгоритму

Пропорційна, інтегральна (INT) і диференціальна складові з'єднані паралельно між собою і можуть бути включені або виключені індивідуально. Це дозволяє сконфігурувати П, ПІ, ПД і ПІД регулятори. Також можна сконфігурувати І та Д регулятори.

Ручне керування

Є два режими керування – ручний і автоматичний. В ручному режимі регульованою величиною можна керувати вручну. В ручному режимі інтегратор (INT) встановлюється внутрішньо на значення LMN - LMN_P - DISV, а диференціатор в 0. Це забезпечує безударне перемикання в автоматичний режим роботи.

Керуюча змінна (Manipulated Value)

Керуюча змінна може бути обмежена до заданого значення за допомогою функції LMNLIMIT. Сигнальні біти відображають коли керуюча змінна перевищила обмежене значення.

LMN_NORM – функція яка нормує вихідний сигнал LMNLIMIT згідно з наступною формулою:

$$LMN = (\text{вихід LMNLIMIT}) * LMN_FAC + LMN_OFF$$

LMN_FAC по замовчуванню встановлене в 1, а LMN_OFF в 0.

Керуюча змінна може також виводитися у периферійному форматі. Функція CPR_OUT перетворює значення вихідної величини із форми з плаваючою комою в периферійну форму згідно з наступною формулою:

$$LMN_PER = LMN * \frac{27648}{100}$$

Вихідна величина ПД алгоритму може бути скоректована додаванням зміщення DISV.

Ініціалізація SFB 41 «CONT_C» має типовий порядок ініціалізації, який запускається при встановленні COM_RST = TRUE.

Під час ініціалізації інтегратор встановлюється внутрішньо на початкове значення I_ITVAL. Коли ініціалізація викликана циклічним перериванням, інтегратор продовжує працювати з цього значення. Всі інші вихідні величини встановлюються по замовчуванню.

2.7. Специфікація на засоби автоматизації

Таблиця 2.6

Специфікація на засоби автоматизації

№ п/п	№ Позиції	Назва параметра	Номінальне значення	Назва засобу та коротка техн. характеристика	Тип	Кількість
1	1-1 2-1 4-1	Температура	80°C 70°C 4°C	Вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, вихідний сигнал 4-20 мА, з первинним термоперетворювачем опору Pt100,	<i>Sitrans ТК-Н</i>	3

				діапазон вимірювання від -50 до +200°C, основна похибка не більш $\pm 0.7\%$, діаметр 6мм, довжина 80мм.		
2	3-1	Витрата	$36 \text{ м}^3 / \text{год}$	Електромагнітний витратоміром Siemens Sitrans. Діаметр 80мм, клас точності 0,5. Робоча температура від -40°C до +350°C. Робочий тиск до 2 МПа. Основна похибка не більш $\pm 0.5\%$ Діаметр фланця 160мм. Підтримує Modbus/Profibus.	MAG 3100	1
3	1-4 4-4			Пневматичний регулюючий клапан з функцією безпеки. Складається з клапану типу 3241, пневматичного сервоприводу типу 3277 з і/р позиціонером типу 3767. Допустимий перепад тиску не більше 1.6 МПа. $D_{y1}=80\text{мм}$, $D_{y2}=50\text{мм}$ вхідний сигнал 4-20мА. Температура середовища до +350 °С.	SAMSON 3241-1	2
4	2-4			Пневматичний трьох ходовий регулюючий клапан з функцією безпеки. Складається з клапану типу 3244-7, пневматичного сервоприводу типу 3277 з і/р позиціонером типу 3767. Допустимий перепад тиску не більше 1.6 МПа. $D_u=100\text{мм}$, вхідний сигнал 4-20мА. Температурний діапазон від -50 °С до +350	SAMSON 3244-7	1

				°C.		
5	1-2			Цифровий багатоточковий самописець з 12 каналами фірми Honeywell , вхідний сигнал 4-20мА. Основна похибка по всій шкалі: ±0,25%. Сенсорний екран з діагоналлю 127мм. Робоча температура до 60 °C. Самописець має пам'ять до 400 Мб. Захист паролем, віддалений доступ. Інтерфейс зв'язку - Modbus, Ethernet	eZtrend Qxe	1
6	3-3			Частотний перетворювач Danfoss. Вхідні сигнали: 2AI 4-20 мА, 4 DI 24В. Потужність:370 Вт. 2 аналогові входи 4-20 мА, 4 дискретні входи 24В та 2 релейні виходи “сухий контакт” для сигналізування аварійної ситуації.	vlt akd 2803	1
7				Контролер Siemens S7-300, DI24 24 В , DO16 “сухий контакт” до 48 В та 500 мА, AI5 4-20мА, AO2 4-20мА, номінальний струм 1А	CPU 314C- 2DP	1
8				Додатковий модуль S7-300 AO2x12Bit 4-20мА	SM332	1

Специфікація на засоби автоматизації, що використані для автоматизації даного процесу наведені в таблиці 2.6

2.8. Опис функціональної схеми автоматизації

Для вимірювання температури теплоносія застосуємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, вихідний сигнал якого 4-20 мА, як первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100.

Сигнал з вимірювального перетворювача поступає на контролер.

З метою підтримання температури на заданому значенні змінюємо витрату пари, що надходить у теплообмінник 1. Для цього встановимо регулюючий клапан типу SAMSON 3241-1 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонера типу 3767 на лінії подачі пари.

Для вимірювання температури пастеризації пива використаємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н, вихідний сигнал якого 4-20 мА, як первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100. Для вимірювання витрати пива застосуємо давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100.

Сигнали з вимірювальних перетворювачів поступають на контролер, який здійснює регулювання та сигналізацію верхньої і нижньої межі пастеризаційного числа.

Для підтримання пастеризаційного числа на заданому значенні змінюємо витрату теплоносія, що надходить до теплообмінника 2. Для цього встановимо трьохходовий регулюючий клапан типу SAMSON 3244-7 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонера типу 3767 на лінії подачі теплоносія.

Якщо значення пастеризаційного числа стає більшим 15 або меншим 12, то спрацьовує сигналізація.

Для вимірювання витрати пива використовується давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100.

Сигнали з вимірювального перетворювача поступає на контролер, який здійснює регулювання витрати пива шляхом зміни швидкості обертання двигуна насоса. Це здійснюється зміною частоти струму живлення двигуна. Використовується частотний перетворювач Danfoss vlt akd 2803.

Температура пива після охолодження вимірюється вимірювальним перетворювачем типу Sitrans ТК-Н, вихідний сигнал якого 4-20 мА, як первинний перетворювач використаємо термоперетворювач опору Pt100.

Сигнал з вимірювального перетворювача поступає на контролер.

З метою підтримання температури на заданому значенні змінюємо витрату гліколю, що надходить у теплообмінник 3. Для цього встановимо регулюючий клапан типу SAMSON 3241-1 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонера типу 3767 на лінії подачі гліколю.

Якщо значення температури пива стає більшим 5°C або меншим 3°C спрацьовує сигналізація.

2.9. Програмне забезпечення системи керування

У бакалаврській роботі розглядаються наступні контури:

- контур регулювання температури теплоносія;
- контур регулювання та сигналізації пастеризаційного числа;
- контур регулювання витрати пива;
- контур регулювання та сигналізації температури пива після охолодження.

Програмне забезпечення зображено на листі графічної частини.

Контур регулювання температури теплоносія

Для обробки вхідного сигналу (температури теплоносія), за допомогою блоку I_DI переводимо значення регістру PIW752 з числового формату integer в double integer. Далі з допомогою блоку DI_R, ми переводим це значення в числовий формат Real, для подальшої обробки. Оскільки АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону температури, потрібно поділити її на 276,48 і результат запишемо в регістр MD18, де ми матимемо значення температури в діапазоні від 0 до 100°C.

Для регулювання застосуємо функціональний блок регулювання з аналоговим виходом. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD18. На вхід SP_INT задаємо завдання 80°C. Вихід цього регулятора записуємо в регістр аналогового виходу PQW752.

Контур регулювання витрати пива

Для обробки вхідного сигналу (витрати пива), за допомогою блоку I_DI переводимо значення регістру PIW756 з числового формату integer в double

integer. Далі з допомогою блоку DI_R, переводимо це значення в числовий формат Real, для подальшої обробки. Так як АЦП контролера S7-300 має свою розрядність, тому для нормування діапазону температури, потрібно поділити її на 552,96 і результат запишемо в регістр MD38, де ми матимемо значення витрати в діапазоні від 0 до 50 м³/год.

Для регулювання застосуємо функціональний блок регулювання з аналоговим виходом. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD38. На вхід SP_INT задаємо завдання 36 м³/год. Вихід цього регулятора записуємо в регістр аналогового виходу PQW756.

Контур сигналізації та регулювання пастеризаційного числа

Обробка вхідних сигналів від давачів температури пастеризації та витрати проходить так само, як і в попередньому контурі, тільки результати записуються відповідно у регістри MD28 та MD38. Далі проводиться математичне обчислення пастеризаційного числа, результат записуємо у регістри MD72.

Для регулювання застосуємо функціональний блок регулювання з аналоговим виходом. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD72. На вхід SP_INT задаємо завдання 20. Вихід цього регулятора записуємо в регістр аналогового виходу PQW754.

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. В даному випадку, коли значення пастеризаційного числа стане менше 15 засвітиться сигнальна лампа і буде світитися поки значення температури не стане більше 15.

Контур сигналізації та регулювання температури охолодженого пива

Обробка вхідного сигналу від давача температури пива після охолодження проходить так само, як і в попередніх контурах, тільки для досягнення діапазону від -25 до +25°С ми спершу ділимо сигнал температури на

552,96 і результат запишемо в регістр MD48, а потім віднімаємо від цього значення 25,0 і записуємо результат у регістр MD100.

Для регулювання застосуємо функціональний блок регулювання з аналоговим виходом. На вхід блоку регулювання записуємо оброблене значення вхідної величини, тобто значення регістру MD100. На вхід SP_INT задаємо завдання 4°C. Вихід цього регулятора записуємо в регістр аналогового виходу PQW758.

Сигналізацію здійснюємо за допомогою блоків порівняння – компараторів. В даному випадку, коли значення температури стане менше 0°C засвітиться сигнальна лампа і буде світитися поки значення температури не стане більше 0,5°C . Коли значення температури стане більше 6°C засвітиться сигнальна лампа і буде світитися, поки значення температури не стане менше 5,5°C. Зона неоднозначності введена для запобігання частого спрацювання сигналізації.

3. ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ТА ОХОЛОДЖЕННЯ ПИВА

3.1. Складання математичної моделі об'єкта регулювання і розрахунок її параметрів

Математичну модель об'єкта регулювання для розрахунків оптимальних параметрів настройки регулятора знаходимо у вигляді функції передачі.

Вхідною величиною даного об'єкту регулювання (теплообмінника) є витрата холодоагента, а вихідною – температура пива на виході з охолоджувача.

Враховуючи структурну схему взаємозв'язків між технологічними параметрами об'єкта, матеріальний баланс, експериментальні дані та інформацію з навчальної літератури побудуємо математичну модель теплообмінника у вигляді функції передачі. Її можна представити як послідовне з'єднання двох аперіодичних ланок, тобто обрана модель матиме вигляд:

$$W_{op} = \frac{k}{(T_1 p + 1) \cdot (T_2 p + 1)};$$

де: k – коефіцієнт передачі;

T_1, T_2 – сталі часу аперіодичної ланки другого порядку;

На основі аналітичних залежностей для визначення параметрів математичної моделі та знаючи геометричні розміри об'єкта, значення технологічних параметрів об'єкта, матеріальні та енергетичні потоки визначимо основні параметри математичної моделі об'єкта:

Сталі часу аперіодичної ланки, $T_1=24$ с, $T_2=12$ с.

Коефіцієнт передачі об'єкта : $k = -1.25 \frac{0C \cdot c0d}{m^3}$;

Отже, функція передачі буде наступною:

$$W_{op}(p) = \frac{-1.25}{(24p + 1) \cdot (12p + 1)}.$$

Крива розгону теплообмінника при одиничному стрибкоподібному збуренні має вигляд (рис. 3.1):

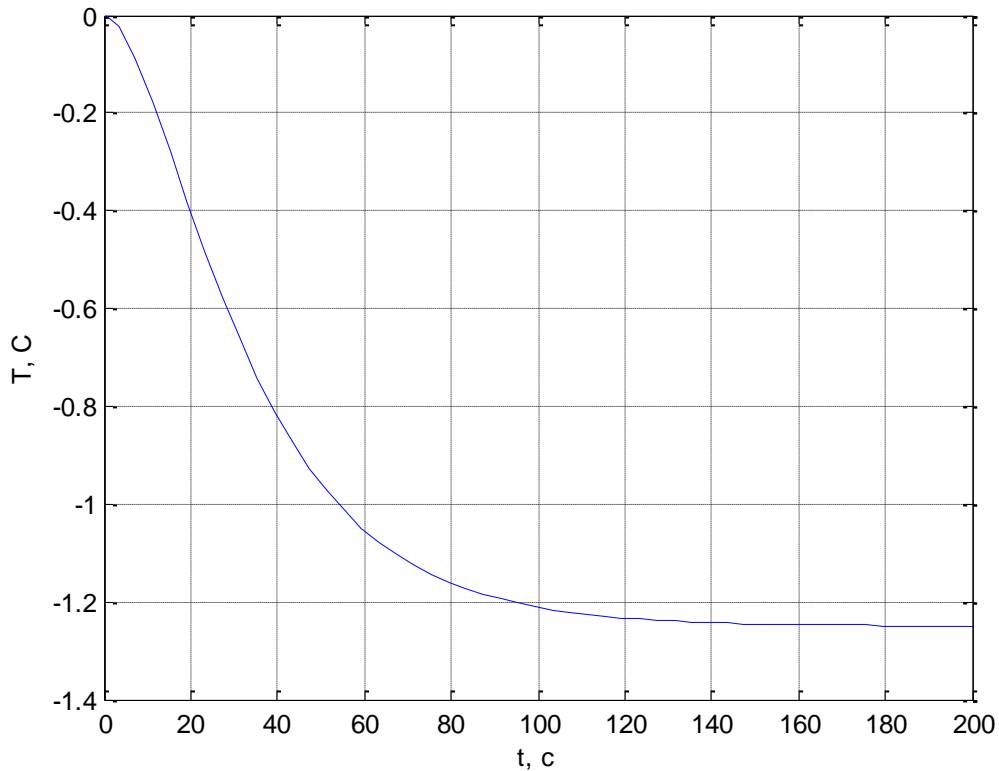


Рис.3.1. Крива розгону теплообмінника при одиничному стрибкоподібному збуренні.

При зміні витрати холодоагенту температура пива на виході змінюється і досягає нового усталеного значення, так як теплообмінник є об'єктом регулювання з самовирівнюванням. Закон зміни температури в часі при нанесенні збурення характеризує динамічні властивості об'єкта. Динамічні властивості теплообмінника залежать, головним чином, від його конструктивних розмірів і витрати потоків.

3.2. Вибір і обґрунтування вимог до перехідного процесу контуру регулювання

Будь-яка промислова система автоматичного регулювання (САР) крім стійкості повинна забезпечувати якісні показники процесу регулювання. Якість процесу регулювання для стабілізуючих САР зазвичай оцінюють по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного збурення, а для слідкуючих САР – по перехідній функції по відношенню до одиничного стрибкоподібного задаючого впливу.

Основними показниками якості є: час регулювання, перерегулювання, коливальність і похибка регулювання.

Крім цього, слід відмітити, що в конкретних умовах до якості регулювання можуть висуватися й інші вимоги, наприклад, максимальна швидкість зміни значення величини, яка регулюється, основна частота її коливань і т. д.

Часом регулювання називається час, на протязі якого, починаючи з моменту нанесення збурення на систему, відхилення значень величини, яка регулюється, від її сталого значення буде менше наперед заданого значення. Таким чином, час регулювання визначає тривалість перехідного процесу.

Перерегулювання - це максимальне відхилення значення величини, що регулюється, від значення яке встановилося, виражене у відсотках.

Колівальність системи характеризується числом коливань величини, яка регулюється, за час регулювання.

Точність регулювання визначається як різниця між значенням регульованої величини, яке встановилось після закінчення перехідного процесу, і її заданим значенням.

В даній роботі якість регулювання оцінюється за допомогою таких критеріїв:

1. Час регулювання t_p .
2. Максимальне динамічне відхилення A_{\max} – максимальна амплітуда перехідного процесу.

3. Коефіцієнт зникання коливань ψ – відношення різниці двох сусідніх амплітуд одного знаку кривої перехідного процесу до найбільшої з них

$$\psi = \frac{A_1 - A_2}{A_1}.$$

4. Точність регулювання Δ .

Виходячи з технологічних умов час регулювання для такого об'єкту приймають рівним $t_p=200$ с. Максимальне динамічне відхилення $A_1=1$ °С . Коефіцієнт зникання коливань $\psi =0.8$. Точність регулювання $\Delta=0.1$ °С. Ступінь коливальності $m = 0.22$.

3.3. Визначення закону регулювання

В практиці автоматизації технологічних процесів використовуються регулятори, які формують пропорційний (П), пропорційно-інтегральний (ПІ), пропорційно-диференціальний (ПД) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) – закони регулювання; причому П- і ПД-регулятори використовуються в основному в САР з астатичними об'єктами, а ПІ- та ПІД-регулятори – в САР з статичними об'єктами, оскільки наявність інтегруючих ланок в складі вказаних регуляторів та в астатичному об'єкті призводить до нестійкої роботи системи регулювання.

В даний час широко використовують П- та ПІ-регулятори. Доцільність використання ПД- і ПІД-регуляторів для конкретного об'єкту повинна вирішуватись по результатах вивчення його динамічних властивостей. Застосування цих регуляторів найбільш ефективно для об'єктів, які характеризуються значним перехідним та малим транспортним запізненням, із збільшенням частки транспортного запізнення їх ефективність падає.

П-регулятори використовують для регулювання таких об'єктів, де є допустимою зміна параметру, який регулюється, в деякому діапазоні при зміні навантаження обладнання. Зміна параметру, який регулюється, в таких САР називаються залишковою нерівномірністю регулювання, а відношення її до зміни навантаження обладнання ΔG , або відповідній зміні положення виконавчого механізму $\Delta x_{вм}$ – ступенем залишкової нерівномірності регулювання:

$$\delta = \frac{\Delta X_{рп}}{\Delta G}; \quad \delta' = \frac{\Delta X_{рп}}{X_{вм}};$$

Ступінь залишкової нерівномірності δ' обернено пропорційний коефіцієнту підсилення П-регулятора. Чим більший коефіцієнт підсилення регулятора K_p , тим менша нерівномірність регулювання (статична похибка регулювання).

Пропорційні регулятори є найбільш простими і дозволяють стійко регулювати промислові об'єкти регулювання. Основним недоліком таких

регуляторів є залишкова нерівномірність регулювання. Функція передачі П - регулятора: $W(p) = k_p$.

I-регулятори можуть стійко працювати тільки з об'єктами із значним самовирівнюванням.

Функція передачі має вигляд: $W(p) = \frac{1}{T_i p}$.

ПІ-регулятор в динамічному відношенні подібний до системи з двох паралельно увімкнених ланок: П-ланки з коефіцієнтом передачі K_p та І-ланки.

Функція передачі ПІ-регулятора визначається за формулою: $W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} \right)$

ПІ-регулятори відрізняються простотою конструкції і дозволяють стійко без залишкової нерівномірності регулювати велику кількість промислових об'єктів. Тому вони отримали велике поширення на практиці.

ПІД-регулятори в динамічному відношенні схожі до систем з трьох послідовно з'єднаних ланок: пропорційної, інтегральної та ідеальної диференційної.

Функція передачі ПІД-регулятора має вигляд: $W(p) = k_p \left(1 + \frac{1}{T_i p} + T_d p \right)$

ПІД-регулятори конструктивно складніші ПІ-регуляторів, однак вони в ряді випадків дозволяють поліпшувати якість регулювання технологічних параметрів.

Для даного технологічного процесу побудуємо одноконтурну САР температури пива на виході з теплообмінника з функцією передачі об'єкту регулювання $W_{op}(p) = \frac{-1.25}{(24p+1)(12p+1)}$ у прямому зв'язку і з автоматичним ПІ-регулятором у зворотному зв'язку.

3.4. Розрахунок оптимальних настроювальних параметрів регулятора

Автоматичний регулятор та оптимальні параметри настроювання необхідно вибирати згідно до вимог автоматичної системи регулювання, а

також за статичними та динамічними характеристиками об'єкта регулювання, за характером і величиною збурюючих та регулюючих факторів.

В даному випадку проведемо розрахунок параметрів регулятора методом розширених амплітудно-фазових характеристик.

Перед розрахунком настройки регулятора ставляться такі завдання:

- знаходження області стійкості по заданому розташуванню коренів характеристичного рівняння замкнутої АСР (метод розширених амплітудно-фазових характеристик (АФХ)) і не меншої від неї;
- забезпечення оптимальної якості регулювання.

В основі методу розширених АФХ покладено критерій стійкості Найквіста.

Для розширеної АФХ вводять :

$$P = -m \cdot \omega + i \cdot \omega; \quad (3.1)$$

де m - ступінь коливальності.

Отже, для знаходження настроювальних параметрів ПІ-регулятора необхідно виконати таку послідовність операцій:

- знаходження функції $W_{OP}(m, i \cdot \omega)$;
- приведення функції $W_{OP}(m, i \cdot \omega)$ до вигляду $W_{OP}(m, i \cdot \omega) = U + i \cdot V$;
- знаходження розширеної амплітудно-частотної характеристики:

$$A(m, i \cdot \omega) = \sqrt{U^2 + V^2}; \quad (3.2)$$

- знаходження розширеної фазо-частотної характеристики

$$\varphi(m, i \cdot \omega) = \arctg\left(\frac{V}{U}\right); \quad (3.3)$$

- розрахунок настроювальних параметрів $\frac{K_p}{T_I}$ і K_p в межах частот $\omega^* \div \omega^{**}$

$$\frac{K_p}{T_I} = \frac{\omega \cdot (m^2 + 1) \cdot \sin(\varphi(m, i \cdot \omega))}{A(m, i \cdot \omega)}; \quad (3.4)$$

$$K_p = \frac{m \cdot \sin(\varphi(m, i \cdot \omega)) - \cos(\varphi(m, i \cdot \omega))}{A(m, i \cdot \omega)}; \quad (3.5)$$

де ω^* і ω^{**} знаходять з умов:

$$\begin{aligned}\varphi(m, \omega^*) &= -\frac{\pi}{2} + \operatorname{arctg}(m); \\ \varphi(m, \omega^{**}) &= -\pi\end{aligned}\quad (3.6)$$

- побудова області настройки ПІ-регулятора в площині $\frac{K_p}{T_i}$ і K_p та знаходження настроювальних параметрів.

Розрахунок параметрів ПІ-регулятора

Знайдемо частоту зрізу w^* з ФАХ

%ФЧХ

`m = 0.22; k=-1.25; T1=24;T2=12;`

`w = [0.001:0.0001:0.5];`

`p = -m.*w+i.*w;`

`Wop=k./((T1.*p+1).*(T2.*p+1));`

`fi=unwrap(angle(Wop));`

`s=-pi.*w./w;`

`ss=(-pi/2+atan(m)).*w./w;`

`plot(w,fi,'k',w,ss,'k',w,s,'k');grid;`

Результат програми: $w^*=[0.04,0.28]$ (рис. 3.2);

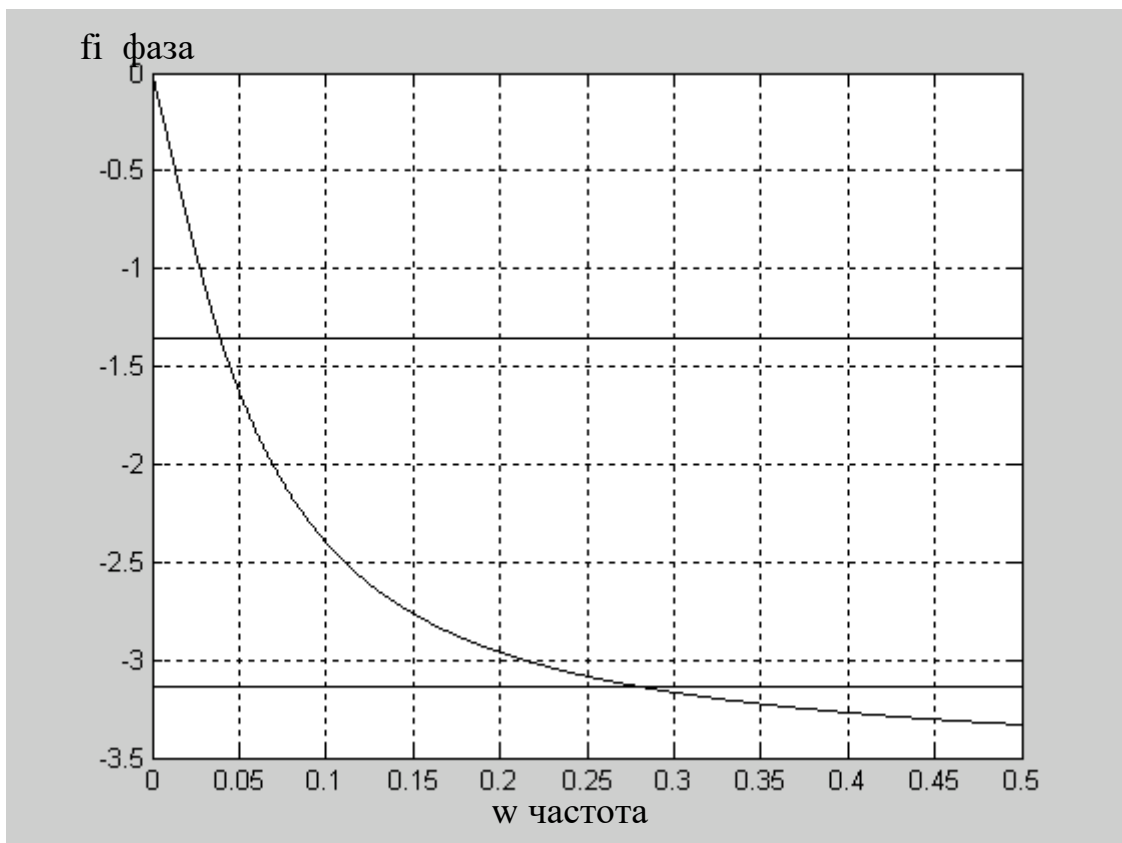


Рис. 3.2 Графік для знаходження частоти зрізу w^*

Знайдемо оптимальні настройки регулятора:

% знаходження оптимальних параметрів регулятора

m=0.22; k=-1.25;

T1=24; T2=12; i=sqrt(-1);

w=[0.04:0.001:0.28];

p=-w.*m+i.*w;

Wop=k./(T1.*p+1)./(T2.*p+1);

U=real(Wop);

V=imag(Wop);

Aop=sqrt(U.^2+V.^2);

Fop=-pi+atan(V./U);

f=Fop;

z=0; f1=f;

for n=2:length(f)

if abs(f(n)-f(n-1))>pi/2;

z=z+1;

end

f1(n)=f(n)-z*pi;

end

f=-f;

Fop=f;

f1=w.*(m^2+1).*sin(Fop)./Aop;

f2=(-cos(Fop)+m.*sin(Fop))./Aop;

plot(f2,f1,'k'); grid;

Границя запасу стійкості САР (рис. 3.3)

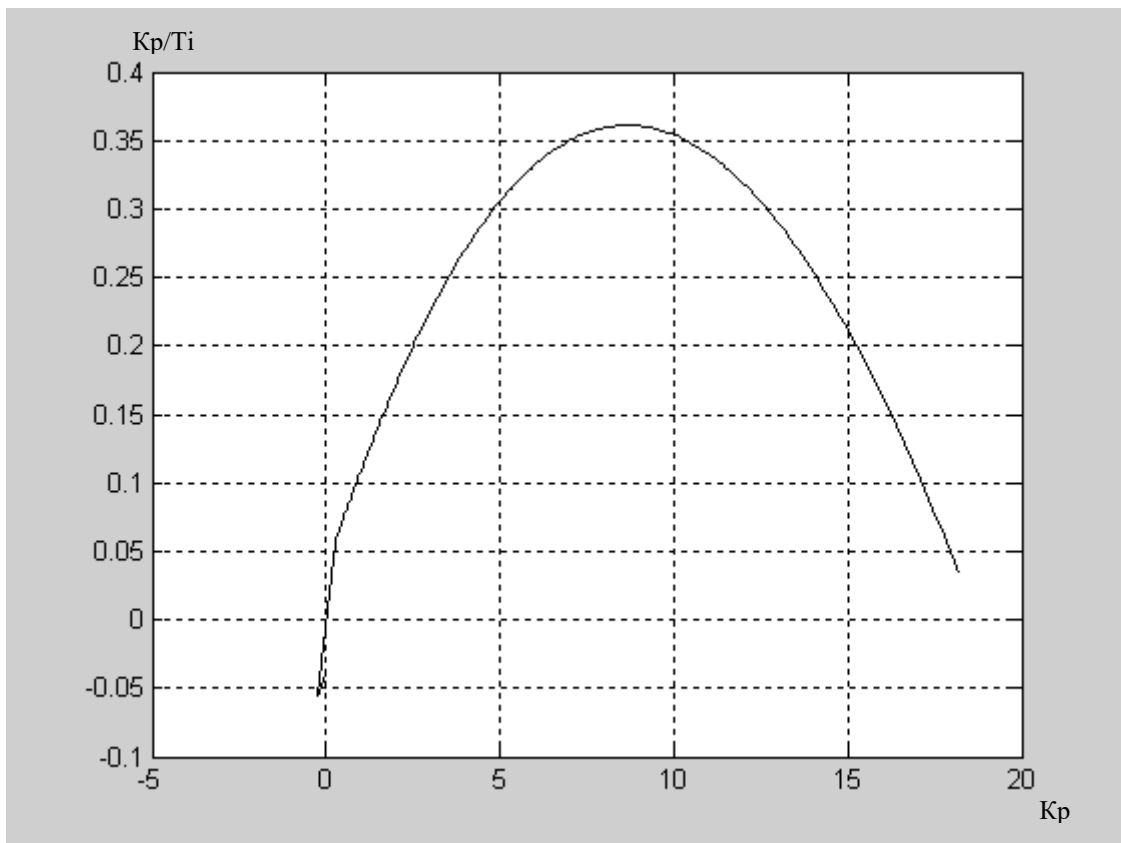


Рис. 3.3 Графік налаштування ПІ-регулятора

Як видно з рисунка 3.3 оптимальні значення налаштування регулятора будуть наступні:

$$K_P = 8.63 \frac{\text{м}^2/\text{год}}{\text{°C}}; \quad \frac{K_P}{T_I} = 0.361 \text{с};$$

На рис. 3.4 наведено перехідний процес замкнутої САР при оптимальних налаштуваннях ПІ-регулятора

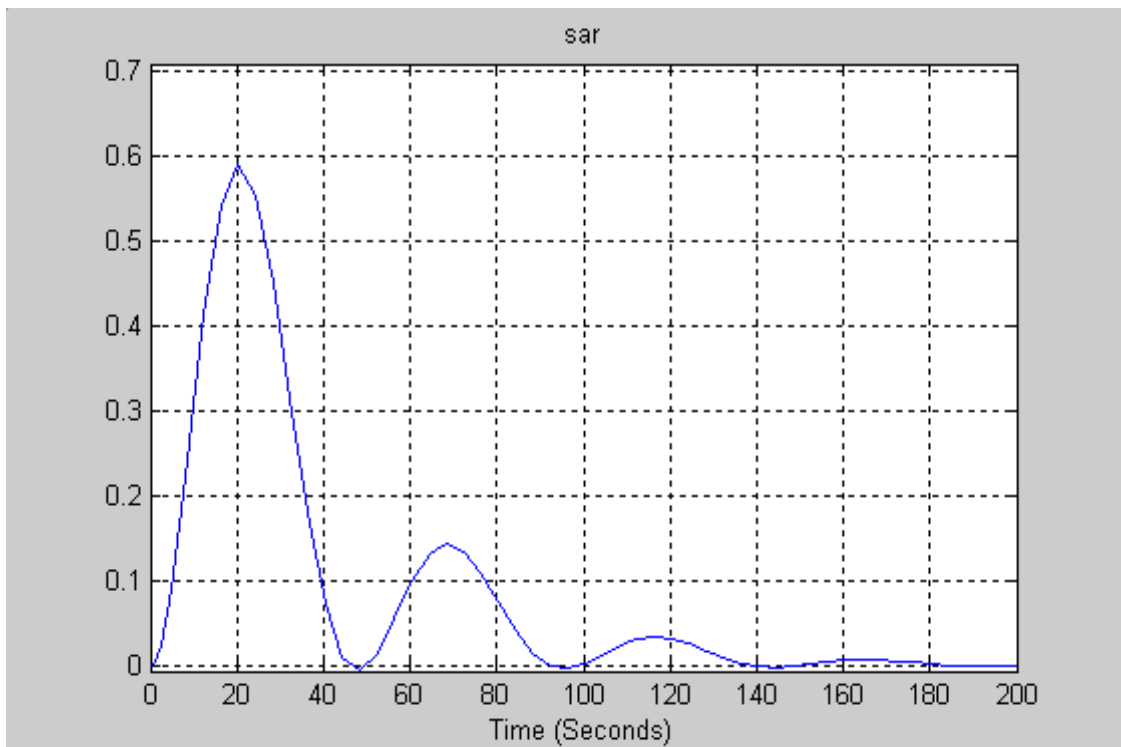


Рис. 3.4. Перехідний процес замкнутої САР при оптимальних настройках
 ПІ-регулятора

З рисунка 3.4 визначимо показники якості:

Знаходимо $\psi = (A_1 - A_3) / A_1$; де A_1 і A_3 – перша і третя амплітуди перехідного процесу.
 $\psi = (0,59 - 0,15) / 0,59 = 0,74$

Маючи ступінь зникання ψ , ступінь коливальності m знайдемо за формулою:

$$m = \frac{\ln(1 - \psi)}{-2\pi} = 0,221$$

$m = 0,221$, отже заданого ступеня коливальності досягнуто.

$A_1 = 0,59^0 C$ - динамічна похибка регулювання;

$\Delta = 0,1^0 C$ - статична похибка регулювання;

$t_p = 200c$ - час регулювання;

Поставлені вимоги до показників якості перехідного процесу задовільняються, отже параметри настройки регулятора знайдені правильно.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану виробничої санітарії і гігієни праці

Охорона праці — це комплекс заходів, спрямованих на створення безпечних та здорових умов праці. Вона є невід'ємною частиною сучасного виробництва і важливим аспектом соціальної відповідальності підприємств.

- Охорона праці — це система законодавчих, соціально-економічних, технічних, санітарно-гігієнічних та організаційних заходів і засобів, спрямованих на забезпечення безпеки, здоров'я і працездатності людини у процесі праці. Мета охорони праці — створити такі умови праці, які б сприяли збереженню життя та здоров'я працівників, а також підвищенню ефективності виробничої діяльності.

Створенням, налагодженням і монтажем систем автоматизації на підприємстві займається відділ КВП і А, який складається з двох підрозділів: операторів і слюсарів-ремонтників.

При проведенні технологічного процесу, а також роботі в операторному приміщенні можна виділити наступні можливі види небезпек:

1) для слюсарів-ремонтників КВП і А:

- пожежо- та вибухонебезпека (при аваріях в пічних агрегатах, трубопроводах подачі газу;
- можливість отримання опіків;
- негативний вплив підвищення рівнів шуму та вібрацій (при роботі різних видів конвеєрів);
- отруєння шкідливими речовинами;
- ураження електричним струмом;
- небезпеки, пов'язані з можливістю травмування робітників відкритими та рухомими частинами обладнання;
- небезпеки, пов'язані з роботою на висоті;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними метеорологічними умовами.

2) для операторів КВП і А:

- зорове перенапруження;
- небезпеки, пов'язані з низькою рухливістю;
- небезпеки, пов'язані з незадовільними ергономічними і метеорологічними умовами;
- пожежо- та вибухонебезпечні умови.

Для зменшення ризиків виникнення нещасних випадків в дипломному проекті необхідно передбачити заходи з охорони праці.

4.2. Обґрунтування організаційно-технічних рекомендацій з охорони праці

Згідно статті 13 закону України про охорону праці «Управління охороною праці та обов'язки роботодавця», третього розділу «Організація охорони праці», роботодавець зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Згідно статті 6 закону України про охорону праці «Права працівників на охорону праці під час роботи», другого розділу «Гарантії прав на охорону праці», умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам законодавства.

Відповідно до статті 8 закону України про охорону праці «Забезпечення працівників спецодягом, іншими засобами індивідуального захисту, мийними та знешкджувальними засобами» на роботах із шкідливими і небезпечними умовами праці, а також роботах, пов'язаних із забрудненням або несприятливими метеорологічними умовами, працівникам видаються безоплатно за встановленими нормами спеціальний одяг, спеціальне взуття та інші засоби індивідуального захисту, а також мийні та знешкджувальні засоби.

Загальні санітарно-гігієнічні вимоги до повітря робочої зони». Норми виробничого мікроклімату регламентують державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6-042-99.

Показниками, що характеризують мікроклімат є температура повітря; відносна вологість повітря; швидкість руху повітря та теплове навантаження.

Оптимальними вважаються такі умови праці, при яких буде найвища працездатність і хороше самопочуття.

Приміщення повинні бути достатньо освітлені, вдень – як найбільше природним світлом, а в нічний та в вечірній часи електричним освітленням. Освітленість повинна відповідати нормативним значенням за ДБН В 2.5-28-2006 «Природне і штучне освітлення».

Техніка безпеки являє собою комплекс технічних і організаційних заходів, які спрямовані на попередження обслуговуючого персоналу від травматизму, шкідливого впливу, які викликані умовами праці.

Приміщення підприємства повинні розміщатись відповідно до вимог, затверджених у встановленому порядку будівельних норм і правил, санітарних і протипожежних норм проектування.

Вентиляція та опалення

Необхідно, щоб повітря робочої зони виробничих приміщень відповідало вимогам ДСН 3.3.6.042-99.

Під час перевищення у приміщеннях норм концентрації шкідливих газів і пилу, що передбачаються санітарними нормами, необхідно негайно вивести людей в безпечну зону та вжити заходів щодо ліквідації загазованості та запиленості повітря.

Для локалізації пиловиділень необхідно передбачати герметизацію та аспірацію устаткування, застосування зволоження, сигналізацію про заповнення бункерів, регулярне прибирання приміщень.

Всмоктувачі та видувні отвори вентиляторів повинні бути загороджені решітками.

Відбір зовнішнього повітря не повинен виконуватись на висоті менше ніж 2 м від землі і в місцях, забруднених різними шкідливими речовинами.

Для опалення приміщень повинні бути передбачені системи, теплоносії і пристрої, які не створюють додаткових виробничих шкідливих факторів.

Системи опалення будинків і споруд підприємства необхідно вибирати з урахуванням вимог ДСП 173-96 і СНіП 2.04.05-91.

Температура повітря в приміщеннях в холодну пору року не повинна бути нижче 14°C при легкій фізичній роботі, 12°C при роботі середньої важкості і 8°C при важкій роботі.

Вібрації та шум

Рівні вібрації та шуму, що впливають на працівників, повинні відповідати вимогам Санітарних норм виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99, Державних санітарних норм виробничої загальної та локальної вібрації, затверджених постановою головного державного санітарного лікаря України.

Вентилятори, повітрорудки, рівні шуму яких перевищують допустимі норми, необхідно розташовувати у звукоізолювальних камерах або у звукоізолювальних кожухах (укриттях), обладнувати глушниками шуму з боку всмоктування та нагнітання, а також засобами віброізоляції, що запобігають передачі вібрацій трубопроводам і фундаментам.

Технологічне устаткування, що має шумові характеристики, які перевищують гранично допустимі норми, необхідно оснащувати засобами зниження шуму або розміщувати у звукоізолювальних боксах, або ж ізолювати звукоізолювальними перегородками або екранами.

Для усунення шкідливого впливу на працівників підвищеного рівня шуму повинні застосовуватись засоби індивідуального захисту.

Освітлення

Робоче освітлення повинно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість і яскравість відповідно до вимог ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд» та ДБН В.2.5-28-2006 «Природне і штучне

освітлення», затверджених наказом Міністерства будівництва, архітектури та житлово-комунального господарства України від. Джерела живлення аварійного освітлення повинні відповідати вимогам чинних нормативно-правових актів.

Улаштування, монтаж і експлуатація силового та освітлювального устаткування необхідно провадити з дотриманням вимог НПАОП 40.1-1.21-98, НПАОП 40.1-1.32-01 та інших чинних нормативно-правових актів.

Показники освітлення території підприємства, допоміжних приміщень і робочих місць у цехах повинні відповідати встановленим нормам. У структурних підрозділах підприємства необхідно застосовувати робоче, аварійне та евакуаційне освітлення.

Робоче освітлення повинно забезпечувати освітленість і яскравість на робочих поверхнях не нижче нормативної.

Аварійним освітленням необхідно забезпечувати на робочих поверхнях освітленість не менше 5% від нормативної, установленної для цих поверхонь.

Евакуаційне освітлення повинно забезпечувати освітленість на підлозі основних шляхів пересування працівників, на сходах сходів не менше 3 лк (люксів).

Світильники повинні відповідати вимогам НПАОП 40.1-1.32-01 і розміщуватися таким чином, щоб забезпечити надійність їх кріплення, безпеку та зручність обслуговування.

Оскільки в технологічному процесі використовується природний газ, то можливе накопичення вибухонебезпечної метано-повітряної суміші, тому системи електроосвітлення повинні бути зроблені у вибухобезпечному виконанні.

Миття вікон повинне проводитись не рідше ніж 4 рази в рік.

Ергономічні вимоги

Ергономічні вимоги до робочих місць під час виконання робіт у сидячому положенні повинні відповідати вимогам чинних нормативних документів.

На постійному робочому місці оператора за пультом або щитом повинні бути регульовані крісла з підлокітниками, з опорою для спини та з підставкою для ніг.

Заходи безпеки

У приміщеннях з підвищеним забрудненням пилом електропроводка та електропускові пристрої необхідно виконувати таким чином, щоб забезпечувалася можливість вологого прибирання приміщень. В електромашинних приміщеннях необхідно передбачати прибирання пилу з електроустаткування пилососом.

На роботах, що пов'язані з небезпекою ураження електричним струмом, повинні застосовуватися засоби захисту відповідно до вимог НПАОП 40.1-1.21-98, Правил безпечної експлуатації електроустановок, Правил експлуатації електрозахисних засобів, НПАОП 40.1-1.07-01.

Органи керування на пульті та на щиті повинні розташовуватись в послідовності запуску і зупинки обладнання. Кнопки запуску повинні бути втоплені на 3-5 мм за габарити пускової коробки, а кнопки зупинки повинні бути червоного кольору і виступати на 3 мм.

Органи керування на пульті або на щиті повинні розташовуватись на відстані не більше ніж 800 мм від вертикальної осі сидіння.

Електричні прилади та щити необхідно заземлювати відповідно до вимог чинних нормативно-правових актів.

Контрольно-вимірювальні прилади повинні освітлюватися відповідно до норм освітленості.

Стан і робота приладів, засобів автоматизації, сигналізації, дистанційного керування та пристроїв захисних блокувань повинні постійно контролюватися.

Регулювання та ремонт приладів і засобів автоматизації повинні виконувати тільки працівники служби контрольно-вимірювальних приладів і засобів автоматизації.

На всіх засобах вимірювання, що контролюють граничні значення параметрів технологічного процесу, червоною фарбою повинні помічатися гранично допустимі значення параметра, що вимірюється.

Загальні вимоги до технологічного обладнання

Відстань між габаритами обладнання повинно бути не менше 3 м, а між стіною та обладнанням - не менше ніж 1,2 м.

Для проведення ремонтних робіт, підйому кришок люків в приміщенні цеху мають бути встановлені вантажопідйомні машини.

4.3. Пожежна безпека

Технічні рішення системи запобігання пожежі.

Проектом передбачене наступне:

- всі елементи, які можуть у процесі роботи іскритися, встановлюються у вогнетривких шафах. Застосовуються іскрогасящі діоди;
- кабелі прокладаються на відстані 1 м від нагрітих поверхонь або захищаються екранами з неспалених матеріалів. Всі елементи кабельного господарства прокладаються в коробах, захисних трубах;
- при аварійних ситуаціях передбачене використання аварійного захисту, що відключає встаткування;
- для захисту від короткого замикання застосовуються плавкі запобіжники й автоматичні вимикачі;
- для запобігання згоряння всі деталі й елементи виготовляються з неспалених і важко спалених матеріалів (в основному металеві конструкції).

Технічні рішення системи протипожежного захисту. Для виявлення початкової стадії пожежі, повідомлення про місце його виникнення й включення установок пожежогасіння відповідно до проекту застосовують наступні установки пожежної сигналізації на базі автоматичних пожежних оповіщувачів.

Установка електричної пожежної сигналізації відповідно складається з оповіщувачів - датчиків (у даному проекті - датчик комбінованого типу КМ-1,

що реагує на дим і підвищення температури), встановлених у приміщеннях, що захищають, ліній зв'язку й прийомної станції СДПУ-1 з живленням від мережі змінного струму 220В встановлюваний у приміщенні щитової. У випадку виникнення пожежі за допомогою світлових і звукових сигналів буде вироблятися оповіщення обслуговуючого персоналу й пожежної команди.

Приміщення обладнане первинними засобами пожежогасіння - вогнегасником 2БР2МА (вуглекислотний). При пожежі в електроустановках, які перебувають під напругою.

Для гасіння пожеж використовується вода. Приміщення обладнане протипожежним водопроводом.

5. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЕКТОВАНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

5.1. Техніко-економічне обґрунтування запроєктованого варіанту системи автоматизації технологічного процесу

Необхідно провести такі техніко-економічних заходів:

- підвищення якості продукції з одночасним зменшенням її собівартості і витрат на виробництво;
- введення нових прогресивних технологій, які б дозволяли знизити витрати матеріальних, сировинних та енергетичних ресурсів, підвищити продуктивність обладнання і технологічних ліній. Більш повно використовувати потужність підприємства, а як наслідок – підвищити обсяг виходу готової продукції;
- покращення системи обліку та стандартизації готової продукції, сировини, напівфабрикатів, енергії, тощо;
- покращення системи взаєморозрахунків, що дозволило б прискорити обіг оборотних коштів;
- покращення умов роботи працівників;
- проведення заходів з автоматизації і механізації виробництва, що дозволить досягнути неперервності процесів виробництва, зменшити частку ручної праці, зменшити кількість браку;
- проведення робіт за напрямками науково-технічного розвитку і технічного переобладнання підприємства;
- проведення систематичного нагляду, поточного і капітального ремонтів обладнання.

Проведення великої кількості операцій із застосуванням ручної праці зумовлює зниження якості продукції і наявність браку. Тому поряд із заміною обладнання доцільно здійснити заміну старої системи автоматизації, яка була побудована на локальних регулюючих і контролюючих засобах, на нову систему з використанням сучасної мікропроцесорної техніки. Хоча нові мікропроцесорні засоби є дорожчими, але завдяки їх багатofункціональному

призначенню є можливість виключити проміжні прилади та здійснювати різні додаткові операції.

Запроектовану систему можна віднести до взаємопов'язаної автоматизації закінчених технологічних процесів без перегляду технології.

Для техніко-економічного обґрунтування вибраної системи автоматизації використаємо дані підприємства, наведені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для порівняння варіантів

Показники	Умовне познач.	Одиниця вимірюв.	Варіант	
			базовий	запроектов.
Річна програма випуску продукції	Q	т	5380,6	5649,6
Термін використання КВП і А	T _{вик}	років	5	5
Кількість відмов КВП і А	N _{над}	%	3	0.5
Похибка КВП і А	P _{пох}	%	2,5	0,5
Чисельність робітників основних допоміжних	Ч _{осн} Ч _{доп}	людей	32	22
		людей	14	10
Вартість системи автомазації	K ₀	грн	94193,58	139161,87
Собівартість продукції	C	грн/т	469,54	465,48
Сума приведених затрат	K _{пр}	грн/т	474,49	470,18

5.2. Економічна ефективність автоматизації виробничих процесів

Введення нової системи автоматизації з використанням сучасної мікропроцесорної техніки дозволить зменшити собівартість продукції за рахунок наступних факторів:

- зменшення витрат сировини і матеріалів – введення в процес відповідних регуляторів дозволить більш точно проводити дозування сировини, а як наслідок буде підвищуватися якість продукції і її вихід;
- зменшення браку відходів;

- зменшення витрат палива – введення регулятора співвідношення витрат „паливо-повітря” з корекцією за концентрацією кисню в димових газах дозволить оптимізувати витрату палива;
- збільшення продуктивності обладнання і процесу в цілому за рахунок зменшення використання ручної праці і досягнення більшої неперервності процесу;
- зменшення кількості обслуговуючого персоналу.

До недоліків нової системи автоматизації можна віднести залучення персоналу вищої кваліфікації, більшої кількості допоміжних робітників, а також незначне підвищення енергоємності.

5.2.1. Розрахунок капітальних затрат на автоматизацію

Одноразові капітальні витрати включають в себе вартість контрольно-вимірювальних і регулюючих приладів та засобів автоматизації, монтажних, будівельних і налагоджувальних робіт, втрати від ліквідації звільненої техніки.

Згідно заводських даних вартість виробів, апаратів, засобів автоматизації і приладів складає 109741,63 грн. транспортно-заготівельні витрати враховуються в розмірі 8 % від купівельної ціни засобів автоматизації і складають 8779,33 грн.

Витрати на монтаж системи автоматизації визначаються вартістю матеріалів, які витрачаються при проведенні монтажних робіт і витратами, пов'язаними з заробітною платою робітників. Згідно заводських даних витрати на монтаж системи автоматизації складають 2154,5 грн.

Вартість налагодження апаратури згідно даних підприємства складає 10 % купівельної вартості засобів автоматизації і становить 10974,16 грн.

Вартість будівельних робіт C_6 , пов'язаних з реконструкцією приміщень і влаштуванням фундаментів під щити, визначають за залежністю:

$$C_6 = V \cdot C_v \left(1 + \frac{C}{100} \right), \text{ де}$$

V – об'єм будівлі, який підлягає реконструкції; за проектом $V=25 \text{ м}^3$; C_v – ціна за 1 м^3 об'єму приміщення, що підлягає реконструкції; за даними підприємства $C_v = 195$ грн; C – витрати на роботи по опаленню, освітленню, каналізації. За

даними підприємства ці витрати складають 10 %. Тоді вартість будівельних робіт рівна: $C_6 = 25 \times 195(1+0,1) = 5362,5$ грн.

Витрати на санітарно-технічні роботи згідно даних підприємства становить 20 % вартості будівельних робіт і складають 1072,5 грн.

Витрати на демонтаж існуючої системи автоматизації згідно даних заводу є рівними 50 % вартості монтажних робіт і чисельно складають 1077,25 грн.

Загальні капітальні витрати на впровадження запроєктованої системи автоматизації технологічного процесу складуть:

$$C = 109741,63 + 8779,33 + 2154,5 + 10974,16 + 5362,5 + 1072,5 + 1077,25 = \\ = 139161,87 \text{ грн.}$$

Затрати на амортизацію становлять 25% від вартості засобів автоматизації $V_{\text{аморт}} = 109741,63 \times 0,25 = 27435,4$ грн в рік.

Затрати на планові ремонти обладнання закладені у розмірі:

$$V_{\text{пл,рем}} = 6500 \text{ грн}$$

Отже, експлуатаційні витрати на автоматизацію становлять :

$$V = 27435,4 + 6500 = 33935,4 \text{ грн.}$$

5.3. Розрахунок виробничої потужності після автоматизації

Одним з показників за рахунок збільшення якого може бути оптимальний прибуток, є виробнича потужність.

Річну виробничу потужність обладнання неперервної дії можна визначити за формулою:

$$V = N \cdot n_r \cdot (T - T_0), \text{ де}$$

N – кількість однорідних апаратів; n_r – продуктивність одиниці обладнання за годину; T_0 – регламентовані зупинки одного апарата, годин; T – календарний час, годин.

Проведемо розрахунок виробничої потужності з використанням даних заводу і паспортних даних обладнання. Порівняно з базовим варіантом виробнича потужність зростає на 5 % за рахунок таких факторів:

- досягнення неперервності технологічного процесу;

- виключення використання ручної праці;
- зменшення часу регламентованих зупинок на ремонт за рахунок блочного принципу виконання приладів;
- підвищення продуктивності обладнання за рахунок перших двох факторів, а також за рахунок повного використання сировини і матеріалів;
- підвищення коефіцієнта виходу готової продукції;
- зменшення тривалості технологічного циклу;
- зменшення витратних коефіцієнтів сировини.

5.4. Розрахунок собівартості річного випуску продукції

Для проведення розрахунків собівартість запроєктованого і базового варіантів повинна визначатися за єдиною методикою при однакових цінах на сировину, матеріали, електроенергію, рівних обсягах виробництва. Тому з врахуванням різниці в річному випуску продукції розраховують додаткові капітальні вкладення з допомогою показника питомих капітальних вкладень за формулою:

$$K_d = \left(\frac{K_2}{Q_2} - \frac{K_1}{Q_1} \right) \cdot Q_2, \text{ де}$$

K_1, K_2 – капітальні вкладення відповідно в базовий і запроєктований варіанти;
 Q_1, Q_2 – річний випуск продукції відповідно в базовому і запроєктованому варіанті.

$$K_d = \left(\frac{13916187}{5649,6} - \frac{9419358}{5380,6} \right) \cdot 5649,6 = 40258,21 \text{ грн.}$$

Економію за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів розрахуємо за даними підприємства за формулою:

$$E_m = (V_1 \Pi_1 - V_2 \Pi_2) Q_2, \text{ де}$$

V_1, V_2 – обсяг сировини, матеріалів, які витрачаються на виробництво одиниці продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації; Π_1, Π_2 – відповідно ціна одиниці сировини, матеріалів.

Загальна економія за рахунок зниження витрат сировини і матеріалів складе:

$$E_3 = 103747,69 \text{ грн.}$$

Зміни у витратах на електроенергію розраховуються за даними підприємства за формулою:

$$E_e = (m_1 - m_2) C_2 Q_2, \text{ де}$$

m_1, m_2 – витрати електроенергії на одиницю продукції відповідно до і після введення нової системи автоматизації; C_2 – ціна одиниці енергії.

Тоді за даними підприємства

$$E_e = (0,018 - 0,0229) \times 5649,6 = -129,19 \text{ грн.}$$

Тобто, додаткові витрати на електроенергію складуть 129,19 грн. Необхідно зауважити, що витрати електроенергії зростають не за рахунок збільшення енергоємності обладнання, а із-за суттєвого розширення його бази.

Економію по заробітній платі робітників визначають у відповідності зі зміною чисельності основних і допоміжних робітників і їх середньорічної заробітної плати.

Явочна чисельність чергових слюсарів буде рівною:

$$Ч_{\text{ячсл}} = \frac{(15 \times 15 + 23 \times 10 + 20 \times 1 + 120 \times 5) \cdot 1,1}{480} = 2,46 \text{ чоловік.}$$

Згідно даних підприємства, на заводі застосовується чотирибригадний графік з тривалістю зміни 7,8 години.

5.5. Розрахунок річного фонду заробітної плати робітників

Річний фонд заробітної плати визначають за штатним розписом і посадовими окладами. За даними підприємства річний фонд заробітної плати служби КВП і А складає: до введення автоматизації – 385458,69 грн, після введення автоматизації - 297483,15 грн.

Розрахуємо економію по заробітній платі за формулою:

$$E_3 = \frac{\Phi_{\text{п1}}}{Q_1} \cdot Q_2 - \Phi_{\text{п2}}, \text{ де}$$

$\Phi_{\text{п1}}, \Phi_{\text{п2}}$ – річний фонд заробітної плати відповідно до і після введення автоматизації; Q_1, Q_2 – річний випуск продукції в натуральних одиницях відповідно до і після введення автоматизації.

Тоді

$$E_3 = \frac{38545869}{5380,6} 5649,6 - 29748315 = 10724625 \text{ грн.}$$

5.6. Розрахунок річного економічного ефекту і терміну окупності

Річний економічний ефект визначаємо за формулою :

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{\text{заг}} - E_n * K ;$$

$$\varepsilon_{\text{заг}} = \varepsilon_i - B ;$$

де $\varepsilon_{\text{заг}}$ - загальна умовно-річна економія за рахунок різноманітних джерел;

ε_i - економія за рахунок і-го джерела (палива, енергії, зарплати);

$E_n * K$ - капітальні затрати на автоматизацію (згідно кошторису) ;

E_n - нормативний коефіцієнт ($E_n = 0.15$);

B - експлуатаційні затрати на автоматизацію.

Таким чином, $\varepsilon_i = 210993,94$ грн. $B = 33935,4$ грн. $K = 139161,87$ грн.

$$\varepsilon_{\text{заг}} = 210993,94 - 33935,4 = 177058,54 \text{ грн.}$$

Річний економічний ефект :

$$\varepsilon_p = 177058,54 - 0.15 * 139161,87 = 156184,26 \text{ грн.}$$

Термін окупності визначимо за формулою:

$$T_{\text{ок}} = K / \varepsilon_{\text{заг}} = 139161,87 / 177058,54 = 0,786 \text{ року} = 287 \text{ днів.}$$

Коефіцієнт ефективності $\varepsilon = \varepsilon_{\text{заг}} / K = 1 / T_{\text{ок}} = 1 / 0,786 = 1,27$.

Річний економічний ефект від запровадження автоматизації даного технологічного процесу 156184,26 грн. Термін окупності – 0,786 року.

На основі проведених розрахунків можна стверджувати, що запровадження запропонованої системи автоматизації дає річний економічний ефект в сумі 156184,26 гривень, а термін окупності становить 0,786 року.

Висновки

В бакалаврській роботі проведена розробка системи автоматизації процесу пастеризації та охолодження пива, зокрема розглянуто існуючі схеми автоматизації та синтезована оптимальну схему для заданих умов роботи.

Технологічний процес пастеризації пива полягає у тому, що пиво нагрівають до визначеної температури, витримують певний час при цій температурі, а потім поступово охолоджують. Пастеризацію і охолодження пива здійснюють в пластинчастих теплообмінниках. На заводах з великою потужністю встановлюють автоматичні тунельні душові лінійні пастеризатори. Основне обладнання такого пастеризатора — ланцюгова стрічкова решітка, яка складається з ланок, що легко пропускають воду.

В процесі пастеризації, пиво поступає на вході із номінальним значенням витрати $36 \text{ м}^3 / \text{год}$ ($\pm 0,5 \text{ м}^3 / \text{год}$); витрата пари, яка буде нагрівати теплоносії повинна мати значення $270 \text{ кг} / \text{год}$ ($\pm 5 \text{ кг} / \text{год}$); витрата гліколю на охолодження пива - $25 \text{ м}^3 / \text{год}$ ($\pm 1 \text{ м}^3 / \text{год}$). Температура пива після пастеризатора 70°C ($\pm 1^\circ\text{C}$). Потім воно іде на вхід в охолоджувач через два теплообмінники з температурою близько $10,5^\circ\text{C}$, де охолоджується до температури 4°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) і подається на розлив. Пастеризаційне число повинно дорівнювати 15 ($\pm 0,5$).

У процесі пастеризації пива надано перевагу точному контролю якісних параметрів пива, тому вибираємо схему автоматизації без початкового підігріву пива пастеризованим пивом.

У бакалаврській роботі розглядаються наступні контури:

- контур регулювання температури теплоносія;
- контур регулювання та сигналізації пастеризаційного числа;
- контур регулювання витрати пива;
- контур регулювання та сигналізації температури пива після охолодження.

Вибрано технічні засоби для реалізації запропонованої схеми автоматизації. Для вимірювання температури теплоносія застосуємо вимірювальний перетворювач типу Sitrans ТК-Н. Для вимірювання витрати пива застосуємо давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100. Для

зміни витрати теплоносія, що надходить до теплообмінника 2 встановимо трьохходовий регулюючий клапан типу SAMSON 3244-7 з пневматичним сервоприводом типу 3277 та інтегрованим і/р позиціонером типу 3767 на лінії подачі теплоносія. Для вимірювання витрати пива використовується давач витрати SITRANS F M MAGFLO типу MAG 3100. Для керування технологічним процесом пастеризації та охолодження пива застосуємо програмований мікропроцесорний контролер S7 – 300.

Для заданих критеріїв якості регулювання були розраховані оптимальні параметри настройки ПІ-регулятора температури охолодженого пива ($K_p=8,63$; $K_p/T_{із}=0.361$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автоматизація виробничих процесів: навч. посібник / Фединець В.О., Васильківський І.С., Николин Г.А.-Львів: СПОЛОМ, 2023.-192 с.
2. Автоматизація виробничих процесів/Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський О.К., Лящук О.Л .- Тернопіль, ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011.-344 с.
3. Автоматизація виробничих процесів/І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед.- К.:Ліра, 2015.- 340 с.
4. Л.М. Артюшин, О.А. Машков,Б.В. Дурняк, М.С. Сівов. Теорія автоматичного керування. — Львів: Видавництво УАД, 2004.
5. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2 «Регулювальні і виконавчі пристрої»/А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. – Х.: НТУ«ХП», 2003.– 658 с.
6. Бабіченко А.К. Практикум з вимірювань та технічних засобів автоматизації / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, І.Л. Красніков та ін. – Х.: НТУ «ХП», 2009. – 114 с.
7. Барало О.В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, СЄ. Гранат, В.О. Ковальов. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
8. Воробйова О.М. Технічні засоби автоматизації: навч. посіб. / Воробйова О.М., Флейта Ю.В. – Одеса: ОНАЗ ім. О.С. Попова, 2018. – 208 с.
9. Домарецький В.А. Технологія солоду та пива. Підручник для ВНЗ. –К.: Інкос, 2004
- 10.Каталог вимірювальних приладів фірми Siemens.
- 11.Каталог фірми "Siemens". [Електронний ресурс]: – Режим доступу:
- 12.<http://adventa.su/price-list-simatic-S7-300/400>– Назва з екрану.
- 13.Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперін І.В. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості.- К.: Аграрна освіта, 2001.- 224 с.
- 14.Нелінійні та дискретні системи автоматичного керування. Курс лекцій : навчальний посібник / укладачі : Б. І. Приймак. – Електронні текстові дані. – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 198 с.
- 15.Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – 2-ге вид., перероб. і доп. – К.: Либідь, 2007. – 656 с.
- 16.Стенцель Й. І. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 2013. – 320 с.
- 17.Siemens [Електронний ресурс]: – Режим доступу: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller> Назва з екрану.